

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Rizobacterias y Fertilización Química Reducida en el Crecimiento
Vegetativo de Goldenberry en Invernadero

Por:

Julio Cesar Ávila Olguín

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Rizobacterias y Fertilización Química Reducida en el Crecimiento Vegetativo de Goldenberry en Invernadero

Por:

JULIO CESAR ÁVILA OLGUÍN


TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

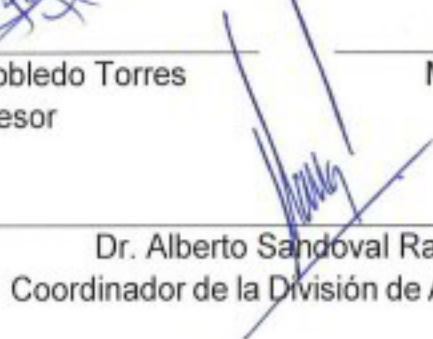
Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal
Asesor Principal


M.C. Adriana Rosabel Marin Cortez
Asesor Principal Externo


Dr. Valentín Robledo Torres
Coasesor


M.C. Isaac Guajardo Paz
Coasesor


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2025

Declaración de originalidad y no plagio

Yo, como autor y responsable directo de este trabajo, declaro bajo protesta de decir verdad que no he incurrido en ningún tipo de plagio ni en conductas académicas inapropiadas, afirmo que en la elaboración de este documento no se copiaron fragmentos o textos sin citar adecuadamente la fuente o el autor original; tampoco se reutilizó material propio ya publicado sin referenciarlo correctamente (autoplagio), asimismo, no se adquirieron, tomaron prestados ni se utilizaron datos, información o trabajos ajenos para presentarlos como propios.

También aseguro que no se omitieron referencias bibliográficas, que cualquier cita textual fue marcada conforme a lo establecido y que no se usaron ideas, razonamientos, imágenes, videos, gráficos, mapas u otros recursos digitales sin otorgar el crédito correspondiente a su autor o fuente, conozco y acepto que cualquier uso indebido de los materiales mencionados, incluidos su reproducción, edición, modificación o comercialización sin autorización, puede ser sujeto de sanciones por parte de las autoridades competentes.

En virtud de lo anterior, asumo plena responsabilidad por cualquier situación relacionada con plagio que pudiera identificarse y manifiesto que el presente trabajo es completamente original.



Julio Cesar Ávila Olguín

NOMBRE Y FIRMA

Agradecimientos

A dios

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a Dios, por brindarme la oportunidad, la salud y la fortaleza necesarias para culminar esta etapa tan significativa. Su guía constante iluminó cada paso de este camino y me permitió avanzar con propósito y esperanza.

A mi Alma Terra Mater

Agradezco la oportunidad de desarrollarme profesionalmente y vivir una etapa que marcó mi crecimiento personal. Gracias por abrirme las puertas al conocimiento, permitirme conocer a personas excepcionales y ofrecerme herramientas que hoy son parte fundamental de mi preparación.

A mi familia

Agradezco su apoyo inquebrantable, su confianza y el ejemplo de perseverancia que siempre me han transmitido. Su acompañamiento ha sido esencial para mantenerme firme aun en los momentos más desafiantes. A quienes han sido inspiración en mi trayectoria y a quienes vienen detrás, deseo que este logro sea también un impulso para perseguir sus propios sueños.

A mis amigos

Tanto de la carrera como de otros ámbitos de mi vida, quienes compartieron conmigo palabras de aliento, compañía sincera y experiencias que hicieron más llevadero y enriquecedor este proceso académico.

A mis maestros y asesores

A quienes me ofrecieron orientación y confianza en el ámbito profesional, permitiéndome adquirir experiencia, aprender nuevos enfoques y fortalecer mis habilidades, les agradezco profundamente su apoyo y enseñanzas.

A mis compañer@s

Que me ayudaron en este trabajo, así como al personal académico que contribuyó de manera directa a mi formación, les agradezco su dedicación, sus enseñanzas y la disposición para acompañarme en cada etapa de este trayecto.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, aportaron a la culminación de este logro. Cada gesto, palabra y enseñanza ha dejado una huella significativa en este proceso que hoy concluye.

Dedicatoria

A mis abuelos

A mis abuelos paternos J Guadalupe Ávila torres y María López Rangel que desde el cielo me acompañan, de misma manera a mi abuela materna Cecilia Gutiérrez Rangel que aún está conmigo, gracias sus enseñanzas y por ser una parte fundamental de mi vida, Este logro también honra todo lo que me transmitieron.

A mis padres

Julio Cesar Ávila López y Erika Olguín Gutiérrez, Este logro también les pertenece, porque su apoyo incondicional me ha enseñado a no rendirme y a seguir adelante incluso en los momentos difíciles. Gracias por confiar en mí y acompañarme en cada etapa de este camino, mostrándome con su ejemplo que la perseverancia, el esfuerzo y la fe siempre dan fruto.

A mi familia

A mis padrinos Cecilia y Miguel, Alma e Hirepan, Yunuen (e. p. d) y Uriel, al igual que a mis tíos, primos y sobrinos, (ellos saben que somos un titipuchal) a quienes llevo en el corazón con profundo amor y respeto, gracias por cada muestra de cariño, por su apoyo en los momentos importantes y por ser parte esencial de mi vida. Su presencia, cercana o a la distancia, siempre ha sido un motivo de alegría y fortaleza para mí.

A mis Hermanos

Kika y chepe, Su apoyo ha sido esencial a lo largo de este camino, gracias por permanecer a mi lado, por acompañarme en cada momento y por ofrecerme palabras de aliento que hicieron posible llegar a esta meta, este logro también es suyo, deseo que mi recorrido pueda motivarles y guiarlos a conquistar sus propios sueños y saben que estaremos presentes para apoyarlos.

A mis amigos

A todas esas personas que, con el paso del tiempo, se fueron convirtiendo en familia; a mis compañeros de universidad que compartieron conmigo largas noches de desvelo, risas espontáneas y esas partidas de cartas que aligeraban el estrés, gracias por su amistad, su compañía hizo de este camino uno más llevadero y lleno de momentos inolvidables. Cada conversación, cada apoyo y cada gesto de cariño dejaron una huella que llevaré conmigo siempre.

A mi novia

A ti, gracias por acompañarme en cada momento. Tu amor, tu paciencia y tus palabras de ánimo fueron un impulso constante para no rendirme. Gracias por estar en mis días difíciles y celebrar conmigo cada pequeño avance. Este logro también es tuyo, porque tu apoyo hizo posible que llegara hasta aquí.

Los que confiaron en mi

todas las personas que en algún momento confiaron en mí, gracias. Su fe en mis capacidades me dio fuerza para seguir adelante y convirtió este logro en algo aún más significativo.

Índice General

Carta de no plagio.....	i
Agradecimientos	ii
Dedicatoria.....	iv
Índice General.....	vi
Índice de Figuras	ix
Índice de Cuadros.....	x
Resumen	xi
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
1.1 Taxonomía.....	4
Género: <i>Physalis</i>	5
1.2. Características botánicas del cultivo de Goldenberry	5
1.2.1. Sistema radical	6
1.2.2. Tallo.....	6
1.2.3. Hoja	7
1.2.4. Flor	7
1.2.5. Fruto	8
1.2.6. Semillas	8
1.3. Importancia del cultivo de Goldenberry	9
1.3.1. Producción en México	9
1.3.2. Producción Mundial	9
Oportunidades Comerciales	11
1.4. Calidad nutracéutica del cultivo de Goldenberry	12

1.5. Requerimientos Edafoclimáticos del cultivo.....	12
1.5.1. Suelo	12
1.5.2. Requerimientos climáticos	12
1.5.3. Riego	13
1.6. Plagas y enfermedades en el cultivo de Goldenberry.....	13
Las principales enfermedades incluyen:	14
Fisiopatía.....	15
1.7 Microorganismos benéficos	15
1.7.1 Rizobacterias.....	16
1.7.2. Géneros más destacados	19
<i>Pseudomonas</i>	19
<i>Achromobacter</i>	20
<i>Enterobacter</i>	21
Biofertilizantes a base de rizobacterias y su importancia	22
Consortios de PGPR	23
MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
2.1. Ubicación del experimento	25
2.2. Lugar y acondicionamiento.....	25
2.3. Material vegetal	26
2.4. Descripción de tratamientos	27
2.5. Sistema de riego y fertilización	28
2.6. Manejo del Cultivo	29
2.6.1. Control Fitosanitario.....	30
2.8. Variables evaluadas	31
2.8.1 Altura de planta	31
2.8.2 Número de hojas	31
2.8.3 Longitud de entrenudos.....	31
2.8.4 Diámetro del tallo	31

2.8.5 Área foliar	31
2.8.6 Peso fresco de hoja.....	31
2.8.7 Peso seco de hoja	31
2.9. Análisis Estadístico.....	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.1. Altura de la planta.....	32
3.2. Número de hojas	35
3.3. Longitud Entre Nudos	38
3.4. Diámetro de Tallo	41
3.5. Área Foliar	44
3.6 Peso Fresco de Hojas	46
3.7 Peso seco de hoja	47
CONCLUSIÓN	50
LITERATURA CITADA	51
ANEXOS	61

Índice de Figuras

Figura 1. Fotos del Goldenberry durante el tiempo en el invernadero.	4
Figura 2. Mecanismos directos e indirectos de promoción del crecimiento vegetal por las PGPR. Fuente: Posada-Uribe et al. (2021).	17
Figura 3. Efecto de las PGPR y fertilización química reducida en la altura de planta de goldenberry, ecotipos Sacha marcado con la letra A y Chiclayo marcado con la letra B.	34
Figura 4. Efecto de las PGPR y fertilización química reducida en número de hojas en la planta de goldenberry, ecotipos Sacha marcado con la letra A y Chiclayo marcado con la letra B.	37
Figura 5. Efecto de las PGPR y fertilización reducida en la longitud de entrenudos de goldenberry, ecotipos Sacha marcado con la letra A y Chiclayo marcado con la letra B.	40
Figura 6. Efecto de las PGPR y fertilización reducida en el diámetro de tallo de goldenberry, ecotipos Sacha marcado con la letra A y Chiclayo marcado con la letra B.	43
Figura 7. Efecto de las PGPR y fertilización reducida en el área foliar de goldenberry establecido en invernadero. Valores con letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan la desviación estándar.	45
Figura 8. Efecto de las PGPR y fertilización reducida en el peso fresco de goldenberry establecido en invernadero. Valores con letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan la desviación estándar.	47
Figura 9. Efecto de las PGPR y fertilización reducida en el peso seco de goldenberry establecido en invernadero. Valores con letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan la desviación estándar.	49

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Compuestos nutracéuticos de 100 g de Goldenberry.....	12
Cuadro 2. Tratamientos establecidos en invernadero en el cultivo de Goldenberry, con dos Ecotipos Sacha y Chiclayo y fertilización química reducida.	28

Resumen

El Goldenberry (*Physalis peruviana* L.) es un fruto de alto valor nutracéutico y creciente demanda internacional, que tiene el potencial para diversificar la producción agrícola en México, sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes sintéticos continúa siendo una problemática en el manejo de este y muchos cultivos, por lo que se requieren alternativas sostenibles que permitan mantener o mejorar el rendimiento sin comprometer la salud del suelo. Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) son una opción viable y sostenible, ya que pueden estimular el crecimiento de las plantas mediante distintos mecanismos biológicos. Por ello, el presente trabajo evaluó el efecto de PGPR combinadas con una fertilización química (FQ) reducida en el desarrollo vegetativo de Goldenberry bajo condiciones de invernadero. El trabajo se realizó en el Depto. de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coah., Méx. a 1742 msnm, en suelo, riego por goteo y acolchado, dentro de un invernadero asimétrico. Se establecieron dos ecotipos de Goldenberry: Sacha y Chiclayo. Para cada ecotipo se aplicó un consorcio de PGPR (BN) y un producto comercial de *Pseudomonas fluorescens* (PF) a dosis de 1×10^8 UFC mL⁻¹, su combinación con FQ a 25 y 50% de concentración basada en solución Steiner, y dos testigos únicamente con FQ a cada concentración. Se evaluaron variables agronómicas: altura de planta, número de hojas, longitud de entrenudos, diámetro de tallo, área foliar, peso fresco y peso seco. Los resultados mostraron que la aplicación de PGPR, en combinación con la fertilización reducida, en especial el tratamiento con BN+50% FQ en ambos ecotipos, promovió un crecimiento mayor en comparación con los tratamientos sin inoculación, especialmente en altura de planta (16.9%), número de hojas (17%) y diámetro de tallo (17.5%) a los 60 días después del trasplante. Aunque variables como peso fresco y área foliar no siempre presentaron diferencias estadísticamente significativas, se observó una tendencia general a mejorar la acumulación de biomasa en las plantas. El peso seco, indicador directo de biomasa, tampoco mostró diferencias significativas, sin embargo, se interpretó que las plantas mantuvieron un crecimiento estable debido a mecanismos de

homeostasis fisiológica promovidos por las PGPR. Se concluye que la combinación de rizobacterias y fertilización química reducida constituye una alternativa sostenible para la producción de Goldenberry en invernadero. Este enfoque puede contribuir significativamente a la adopción de sistemas productivos más eficientes y sustentables en la región.

Palabras clave: Rizobacterias, uchuva, crecimiento, sustentable.

INTRODUCCIÓN

El Goldenberry (*Physalis peruviana* L.), o conocido también como uchuva, aguaymanto, uvilla, cereza del Perú, capulí, o tomate silvestre, es una fruta exótica de gran valor nutricional y creciente demanda internacional debido a su alto contenido de antioxidantes, vitaminas A y C, así como minerales esenciales (Balaguera-Lopez et al., 2024).

Es una planta originaria de los Andes Sudamericanos, donde se le conocen más de 50 especies en estado silvestre, perteneciente a la familia de las Solanáceas, ha sido cultivada tradicionalmente en países como Colombia, Perú y Ecuador, destacándose por su sabor único y propiedades medicinales.

Por ser de importancia económica representa una alternativa de producción para los agricultores, aunque en México todavía no se han desarrollado experiencias con este cultivo, su potencial productivo y su capacidad de adaptación a suelos de baja fertilidad lo convierten en una oportunidad prometedora (Espinosa-Rodríguez et al. 2020).

En las últimas décadas, el cultivo de Goldenberry ha experimentado un aumento en su producción, especialmente en regiones de clima templado y tropical, lo que ha llevado a la investigación de nuevas técnicas para mejorar su rendimiento y calidad.

La agricultura moderna enfrenta nuevos desafíos, integrando enfoques ecológicos y moleculares, para lograr mayores rendimientos de los cultivos y reducir al mínimo los impactos sobre el ambiente. Para lograr mayores cosechas, se ha incrementado significativamente el uso de fertilizantes sintéticos por unidad de superficie, sin embargo, puede generar contaminación, y además reducir la fertilidad del suelo (Moreno-Reséndez *et al.*, 2018).

Esto ha convertido su manejo en una de las principales preocupaciones en la producción agrícola, como alternativa al uso de fertilizantes sintéticos, la investigación se ha enfocado en el desarrollo de nuevas biotecnologías, despertando un creciente interés en los microorganismos benéficos del suelo.

En este contexto, las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal o PGPR, (por sus siglas en inglés) han demostrado ser una alternativa prometedora para el manejo sustentable del cultivo, reduciendo el uso de agroquímicos y promoviendo un crecimiento saludable de las plantas.

Las PGPR son bacterias asociadas a la rizosfera de las plantas y son capaces de generar simbiosis a través de varios mecanismos por los cuales afectan positivamente su crecimiento y desarrollo, mejoran la absorción de nutrientes y la resistencia a enfermedades (Moreno-Reséndez et al., 2018).

En el caso del Goldenberry, estas bacterias pueden desempeñar un papel clave en la optimización de la producción, al estimular el crecimiento radicular, mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y aumentar la tolerancia a condiciones de estrés, tanto biótico como abiótico. Lo anterior no solo contribuye a un sistema de producción más sostenible, sino que también ofrece beneficios económicos y ambientales al reducir la dependencia a agroquímicos y fertilizantes (Yang et al., 2024).

Estas prácticas permiten obtener un producto final más sano y con menor impacto ambiental, alineándose con las tendencias actuales de agricultura orgánica y responsable.

Por lo tanto, la incorporación de biofertilizantes a base de rizobacterias en el cultivo de Goldenberry representa una estrategia viable para incrementar la productividad y la calidad de los frutos, al mismo tiempo que se protege el ecosistema agrícola

A medida que la demanda por esta fruta sigue creciendo a nivel mundial, es crucial seguir explorando soluciones sostenibles que aseguren su producción a largo plazo. Por lo que, se plantearon los siguientes objetivos.

Objetivo General

Determinar el efecto de la aplicación de rizobacterias en el crecimiento vegetativo del cultivo de Goldenberry con el uso reducido de fertilizantes químicos.

Objetivos Específicos

- Establecer dos ecotipos del cultivo de Goldenberry en invernadero
- Evaluar el impacto de las rizobacterias en el crecimiento del cultivo de Goldenberry (*Physalis peruviana* L.) a través del tiempo.
- Comparar la combinación de los tratamientos biológicos con métodos convencionales de fertilización en forma reducida en Goldenberry.

Hipótesis

El uso combinado de rizobacterias y fertilización química reducida aumenta el crecimiento de Goldenberry, mejorando las variables agronómicas de este cultivo en al menos uno de los ecotipos.

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Taxonomía

En seguida se detalla la clasificación taxonómica del Goldenberry, conforme a los datos del Natural Resources Conservation Service del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2013).

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Solanales*

Familia: *Solanaceae*

Género: *Physalis*

Especie: *Physalis peruviana* L.



Figura 1. Fotos del Goldenberry durante el tiempo en el invernadero.

La familia Solanácea comprende aproximadamente 90 géneros y 2,600 especies, de las cuales 14 géneros tienen una mayor representatividad. Están distribuidas en todo el mundo, especialmente en regiones tropicales y templadas. Sus miembros más conocidos son cultivos como el tomate (*Solanum lycopersicum*), la papa (*Solanum tuberosum*), el chile (*Capsicum* spp.), la berenjena (*Solanum melongena*) y el tabaco (*Nicotiana tabacum*). Muchas contienen alcaloides tóxicos como la atropina y la solanina, mientras que otras tienen aplicaciones medicinales, son en su mayoría herbáceas, arbustos o pequeños árboles, con flores llamativas en forma de estrella y frutos tipo baya o cápsula (Martínez et al., 2017).

El género más diverso es *Solanum*, con 130 especies, seguido de *Physalis* (65) y *Cestrum* (42). México alberga el 100% de las especies de *Datura* y *Tzeltalia*, el

80% de *Chamaesaracha* y el 77% de *Physalis*. En cuanto a diversidad por estado, Oaxaca lidera con 172 especies, seguido por Chiapas (167), Jalisco (148) y Veracruz (145), en contraste, los estados con menor riqueza son Tlaxcala (16), Campeche (19) y Colima (27). México es un área clave para la diversificación y el endemismo de la familia Solanaceae, con un total de 135 especies exclusivas del país (Martínez et al., 2017).

Género: *Physalis*

Tiene su origen en América, con una notable diversidad en México y los Andes sudamericanos, a lo largo de millones de años, ha evolucionado y se ha diversificado, y su estudio continúa siendo relevante en campos de la taxonomía y la genética.

Está compuesto por aproximadamente 90 a 100 especies distribuidas principalmente en el continente de origen, se caracterizan por sus frutos envueltos en un cáliz inflado y seco, formando una estructura similar a un farol, lo que les ha valido nombres como "tomatillo" o "capulín" en distintas regiones.

Varias especies tienen importancia económica y alimenticia, siendo la más conocida *Physalis philadelphica* o tomatillo de cáscara, cultivada en México como ingrediente esencial de salsas y platillos.

Es el género al cual pertenece el Goldenberry, que tiene su origen particularmente en los Andes, donde se ha cultivado desde tiempos precolombinos; ha sido valorado tradicionalmente por su sabor dulce-ácido y sus propiedades medicinales, especialmente en regiones como Perú y Colombia (Balaguera-Lopez et al., 2024).

1.2. Características botánicas del cultivo de Goldenberry

La planta tiene un crecimiento semi arbustivo y puede ser anual o perenne según el clima, siendo anual en regiones templadas y perenne en zonas tropicales.

1.2.1. Sistema radical

La mayor parte de las raíces son de tipo fibroso y se localizan a una profundidad de entre 10 y 15 cm. En cambio, el sistema radicular es ramificado, y sus raíces principales pueden extenderse hasta una profundidad de 50 a 80 cm.

El crecimiento y desarrollo de las raíces dependen en gran medida de las características del suelo, incluyendo su tipo y textura. Factores como la aireación, la temperatura y la humedad juegan un papel fundamental en este proceso, ya que un suelo bien aireado favorece la oxigenación de las raíces, una temperatura adecuada estimula su crecimiento, y una humedad equilibrada evita el estrés hídrico.

Cuando estos elementos se combinan de manera óptima, las raíces pueden expandirse con mayor facilidad, mejorando la absorción de nutrientes y agua, lo que a su vez influye directamente en la salud y productividad de la planta (Domínguez-Velázquez et al., 2020).

1.2.2. Tallo

Physalis peruviana presenta tallos erectos, costillados y suculentos, que van lignificándose con el paso del tiempo. Su estructura presenta nudos e internudos, y en cada nudo emerge una hoja que resguarda múltiples yemas.

Estas yemas pueden desarrollarse en nuevas ramas, hojas o flores, en la base del tallo, se encuentra una gran cantidad de yemas que, al crecer, pueden dar origen tanto a ramas secundarias como a tallos principales.

Sin la ayuda de un tutor, la planta puede alcanzar una altura de hasta 1.5 m, pero con poda y el uso de espaldera, su crecimiento puede superar los 2.5 m. El tallo principal, de manera natural, se bifurca tras desarrollar entre 8 y 12 nudos, generando ramas productivas con un patrón dicotómico (Seleem & Nassar, 2021).

1.2.3. Hoja

Son simples, de borde entero o ligeramente dentado, con forma ampliamente ovada y base cordada, dispuestas de manera alterna a lo largo de los tallos.

Presentan un ápice acuminado, un pecíolo largo de aproximadamente 10 a 40 mm, y un tamaño que varía entre 50 y 150 mm de largo por 40-90 mm de ancho. Su limbo es liso y está cubierto por finas vellosidades, lo que le confiere una textura suave al tacto.

Cuando las condiciones de crecimiento son óptimas, la planta puede desarrollar más de mil hojas a lo largo de su ciclo de vida, cada una con una superficie aproximada de 25 a 30 cm², lo que favorece un mayor aprovechamiento de la luz solar para la fotosíntesis.

A medida que los frutos alcanzan la madurez, las hojas pierden gradualmente su color verde y adquieren un tono amarillento, reflejo de la disminución de la actividad fotosintética. Finalmente, este proceso culmina con la abscisión foliar (El-Morsy & Osman, 2024).

1.2.4. Flor

Las flores son solitarias, pedunculadas y hermafroditas, nacen en las axilas y presentan una corola amarilla tubular formada por cinco pétalos unidos, con cinco puntos morados en la base, su polinización puede darse por insectos, viento o autopolinización.

El cáliz gamosépalo consta de cinco sépalos persistentes, vellosos y con venas prominentes, mide entre 4 y 5 cm y envuelve el fruto durante su desarrollo. Inicialmente es verde durante los primeros 4 a 45 días, pero al madurar pierde clorofila, adquiriendo un tono amarillento y una textura pergaminosa (Domínguez-Velázquez et al., 2020).

El cáliz cumple una función fundamental en la protección del fruto, actuando como una barrera natural contra insectos, aves y diversas enfermedades que podrían afectar su desarrollo. Además, brinda resguardo ante condiciones climáticas extremas, como la excesiva exposición a la radiación solar, evitando

el sobrecalentamiento que podría dañar el fruto en sus primeras etapas de formación.

Más allá de su papel protector, el cáliz también desempeña una función nutricional, ya que durante los primeros 20 días de crecimiento del fruto, actúa como una fuente adicional de carbohidratos, proporcionando la energía necesaria para su desarrollo inicial (El-Morsy & Osman, 2024).

1.2.5. Fruto

Este fruto es de apariencia esférica y evoluciona de un color verde a un amarillo-anaranjado. Posee un diámetro entre 1.25 y 2.5 cm, y un peso entre los 4 y 10 g. Es un arbusto que crece desde el nivel del mar hasta 3300 msnm, sus frutos son carnosos, del tipo baya, glabros (Zambrano-Palomino, 2023).

Cuando la baya alcanza su madurez, su color cambia, pasando de amarillo a tonos que van desde el ocre hasta el amarillo-naranja, su piel es delgada, brillante y está protegida por el cáliz. El sabor de la fruta varía significativamente, oscilando entre dulce, ácido y ligeramente amargo, dependiendo de las condiciones de cultivo y la madurez (Yildiz et al., 2015).

Es particularmente rico en vitaminas, especialmente las A y C, y también contiene una buena cantidad de vitaminas del complejo B; en cuanto a su composición mineral, presenta una alta concentración de proteína, hierro y fósforo, aunque su contenido de calcio es relativamente bajo (Seleem & Nassar, 2021) (Cuadro 1).

1.2.6. Semillas

Son numerosas, ovoides, aplanadas y glabras, con hilio lateral. Dentro del fruto se encuentran entre 100 y 300 semillas que contribuyen a su reproducción. Tienen un diámetro de 1.5 a 2 mm, de color amarillo o café dorado, además de una tasa de germinación entre el 80 y el 95% (Seleem & Nassar, 2021).

1.3. Importancia del cultivo de Goldenberry

El cultivo de Goldenberry ha ganado importancia en el mercado internacional por sus múltiples beneficios nutricionales y propiedades nutracéuticas.

Se considera un "superalimento" debido a que es bajo en calorías y a su alto contenido de compuestos beneficiosos para la salud: vitamina C (20 a 40 mg 100 g⁻¹), antioxidantes, compuestos fenólicos, y minerales esenciales como el hierro y el fósforo en niveles elevados para una fruta (Guiné et al., 2020).

Contiene un 15% de sólidos solubles (principalmente azúcares) y su alto nivel de fructosa la hace valiosa para diabéticos. Su alto contenido de fibra dietética es de importancia, en la que la pectina de frutas actúa como regulador intestinal (Kiralan et al. 2024).

Entre los beneficios más destacados del Goldenberry se encuentran.

- Alto contenido de vitamina C, fortaleciendo el sistema inmunológico.
- Propiedades antioxidantes que protegen al cuerpo del estrés oxidativo.
- Mejora en la digestión debido a su contenido de fibra.
- Contribución a la regulación del azúcar en sangre.

1.3.1. Producción en México

El cultivo de Goldenberry (*Physalis peruviana* L.) en el país se encuentra en etapa de investigación, siendo relevante en los últimos años, tanto por su valor económico como por su aporte nutricional. Aun no se cultiva comercialmente, solo con fines de investigación y divulgación.

1.3.2. Producción Mundial

En la actualidad, en el continente americano, el cultivo de la Goldenberry ha extendido su producción tanto a los altiplanos de los países tropicales y subtropicales, como a países del Caribe (Fischer & Miranda, 2012).

Actualmente, en Sudamérica, países como Ecuador, Perú, Chile y Brasil aumentan su área de cultivo. Los principales productores a nivel mundial son Colombia, Kenia, Zimbabue, Australia, Nueva Zelanda, India y Ecuador y dentro

de los principales países que compran este producto, se encuentran: Holanda, Alemania, Francia, Inglaterra, España, Bélgica, Suiza, Canadá, Estados Unidos (EE.UU.), Reino Unido, Italia y Brasil (Nuñez-Zarantes, et al., 2024).

En Colombia en el año 2021, el área de producción fue de 1442 hectáreas (ha), con una producción total de 18460 toneladas (t) y un promedio de 12 toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$), y sus mayores áreas en los departamentos de Cundinamarca (419 ha), Boyacá (404 ha) y Nariño (204 ha). En el año 2022 se registró los datos de área de producción fueron de 2956 ha, con una producción total de 38891 t y un promedio de $13\ t\ ha^{-1}$, y sus mayores áreas en los departamentos de Boyacá (510 ha) Cundinamarca (354 ha) y Nariño (202 ha). Esto nos da un incremento de 1514 ha y un aumento de 20430 t y una mejora en el rendimiento por hectárea nacional de $0.35\ t\ ha^{-1}$ lo que nos da a entender que la aceptación de este cultivo está aumentando y año con año está aumentando el área de presencia de este cultivo (Minagricultura, 2023).

En Ecuador, el Goldenberry es cultivado principalmente por pequeños y medianos productores en la región de la Sierra norte, a altitudes que oscilan entre los 2000 y 3000 msnm. Destaca la provincia de Imbabura, donde se concentra el 40% de los cultivos bajo sistemas de producción semitecnificados, alcanzando rendimientos de $13.6\ t\ ha^{-1}$ en una superficie de 350 hectáreas (Coronel, 2016).

Según el Banco central de Ecuador exporto 104.7 ton, por un valor FOB (Free on board) de US\$ 407.64, con precio de US\$ 3.57/kg, los países a los que mayormente se exporta son: Holanda con el 43% del total, seguido por España, Alemania, Canadá, Reino Unido, Suecia, Bélgica, Suiza e Italia (Coronel, 2016).

En Perú, se conoce como aguaymanto, uva de monte, capulí o tomate silvestre El país es considerado como un importante centro de biodiversidad mundial y la cordillera de los Andes Peruanos ha contribuido a la gran diversidad de ecotipos de aguaymanto, base genética de los cultivos comerciales del mundo.

Sin embargo, en el Perú, el cultivo en forma comercial es bajo, solo en algunas zonas se está cultivando, para 2010 las exportaciones alcanzaron 15.35 t con valor de US\$148,296.55, principalmente como fruto deshidratado.

Los principales países compradores son EE.UU. con participación de 53%, seguido por Reino Unido, Alemania, Canadá y Francia (Coronel, 2016).

En Chile, el Goldenberry es conocido como amor en bolsa o capulí, el cultivo cuenta con pocas referencias. Se estima que el rendimiento promedio nacional es de 6 t ha⁻¹. Las exportaciones de este producto son muy pocas, siendo Japón el principal país comprador, en donde alcanza un precio promedio de US\$ FoB 5.66/kg. A partir de diciembre de 2011 se autorizó el ingreso, por parte de APHIS (Animal and Plant Health Inspection Service) de frutos de Goldenberry a EE.UU. (Crosley et al., 2019).

Oportunidades Comerciales

- El comercio internacional de Goldenberry está en crecimiento, con una demanda consolidada en Europa (Holanda, Alemania, España, Reino Unido) y América del Norte (EE.UU. y Canadá).
- Si México inicia la producción comercial, podría aprovechar su proximidad a EE.UU., pues ya importa de Sudamérica.

México tiene ventajas para poder entrar a la comercialización de este cultivo ya que tiene a su favor la cercanía con el país vecino del norte EE.UU. que es uno de los consumidores de este fruto. Además, cuenta con condiciones agroclimáticas favorables y la creciente demanda internacional.

Si se impulsa la producción con buenas prácticas agrícolas y certificaciones de exportación, podría convertirse en un actor clave en el mercado global de Goldenberry (Espinosa-Rodríguez et al., 2020).

1.4. Calidad nutracéutica del cultivo de Goldenberry

El Goldenberry es reconocido por su perfil nutricional, siendo rico en vitaminas y antioxidantes. Según Balaguera-Lopez et al. (2024) contiene:

Cuadro 1. Compuestos nutracéuticos de 100 g de Goldenberry.

Compuesto	Cantidad (en 100 g)
Calorías	53 kcal
Agua	85 g
Carbohidratos	11 g
Grasas	0.7 g
Proteínas	1.9 g
Vitamina C	28 mg
Fósforo	40 mg
Hierro	1.5 mg
Fibra	4.9 g

1.5. Requerimientos Edafoclimáticos del cultivo

1.5.1. Suelo

Se recomienda el uso de suelos sueltos, con una estructura granular y una textura franco-arenosa o arcillosa, enriquecidos con materia orgánica.

El pH ideal para su cultivo es entre 5.5 y 6.5. En suelos aluviales muy fértiles, el crecimiento vegetativo es excesivo, lo que impide que los frutos adquieran el color adecuado. Los niveles freáticos superiores a 1 metro son los más adecuados para el cultivo, por lo que, en áreas con problemas de drenaje, se aconseja realizar las plantaciones sobre lomos o camellones (Quiroga & Kirschbaum, 2021).

1.5.2. Requerimientos climáticos

Se desarrolla en ambientes con temperaturas que oscilan entre los 5 y los 35°C, con una temperatura base de 6.29°C y una temperatura óptima de 21°C.

Las temperaturas diurnas iguales o superiores a 35°C tienen efectos negativos sobre la floración y la fructificación, mientras que las temperaturas nocturnas

inferiores o iguales a 10°C afectan el crecimiento y desarrollo de la planta. No tolera las heladas de larga duración, ya que en zonas subtropicales se han observado daños irreversibles cuando las temperaturas descienden de 0°C (Ali & Singh, 2013).

1.5.3. Riego

La cantidad de agua necesaria varía entre 1000 y 1800 mm de precipitación, distribuida de manera uniforme a lo largo del año, mientras que los niveles ideales de humedad relativa (HR) se encuentran entre el 70% y el 80% (Fischer & Miranda, 2012).

1.6. Plagas y enfermedades en el cultivo de Goldenberry

Como cualquier otra planta, enfrenta amenazas de diversas plagas y enfermedades que afectan tanto su crecimiento y desarrollo, como el rendimiento del cultivo y la calidad de su fruto.

Una de las plagas más comunes a nivel mundial es *Epitrix sp* (Coleoptera: Chrysomelidae), conocida como la pulguilla. Esta se alimenta de los brotes jóvenes, causando perforaciones redondas que dificultan el crecimiento normal de la planta (Torres-Panqueva & Cuéllar-Meneses, 2019).

Otra plaga de gran relevancia para el cultivo es *Chloridea (Heliothis) subflexa* (gusano del tomate de cascara) (Campos de Melo et al., 2018). La larva de esta plaga es la más dañina, ya que perfora el cáliz de la planta para alimentarse del fruto. Dependiendo de la intensidad del ataque, puede llegar a afectar entre un 17% y un 62% de la producción (Quiroga & Kirschbaum, 2021) las pupas se desarrollan en el suelo, mientras que los adultos son polillas nocturnas que ponen sus huevos en el cáliz.

Otra plaga común es *Liriomyza sp.* (Diptera), conocida como el minador de la hoja. Esta plaga es muy generalista y tiene una amplia variedad de plantas hospedadoras. Los huevos se colocan en el mesófilo foliar, y las larvas, al nacer, son traslúcidas, pero al alimentarse se vuelven de color amarillo-naranja, este estadio es el más perjudicial, ya que las larvas crean galerías irregulares en las

hojas y pueden atacar a la planta en cualquier fase de su desarrollo (Fischer & Miranda, 2012).

Además, aunque con menor relevancia, también se mencionan como plagas, la mosca blanca (*Bemisia tabaci*), que succiona savia, debilitando la planta, y transmite enfermedades virales (vector); pulgones (*Aphidoidea*), que debilitan tejidos tiernos, favorecen el desarrollo de fumagina; nematodos, *especialmente Meloidogyne incognita* y el ácaro *Tetranychus ludeni* (Acari: Tetranychidae), que afectan el cultivo de Goldenberry (Torres-Panqueva & Cuéllar-Meneses, 2019).

Las principales enfermedades incluyen:

El Goldenberry también es vulnerable principalmente a hongos, bacterias y virus, desde la etapa de almácigo hasta la postcosecha (Quiroga & Kirschbaum, 2021). El patógeno más dañino es *Fusarium oxysporum* Schelecht f. sp. *physali*, que causa el marchitamiento vascular, una enfermedad que puede provocar pérdidas totales del cultivo, por lo mismo es la enfermedad más limitante (Sanchez-Aguilar, 2019).

Este hongo vive en el suelo y tiene clamidosporas capaces de sobrevivir por más de 20 años. Su micelio puede penetrar las raíces de forma directa o a través de heridas o en los puntos de formación de raíces secundarias (Quiroga & Kirschbaum, 2021).

Otro hongo dañino es *Phoma exigua* Sacc., que provoca la enfermedad conocida como "muerte descendente" o "mal de la tierra", al igual que *Fusarium*, este hongo puede causar la pérdida total del cultivo, afectando a la planta en cualquier etapa de su desarrollo, y se pueden observar síntomas en hojas, ramas, cáliz y frutos (Quiroga & Kirschbaum, 2021).

Moho gris (*Botrytis cinerea*): Manchas oscuras en hojas y tallos, pudrición del fruto

Tizón tardío (*Phytophthora infestans*): Amarillamiento de hojas y caída prematura del fruto. Estos patógenos son más comunes en frutos cosechados en condiciones de alta humedad relativa y temperaturas elevadas.

Otros patógenos fúngicos que afectan el Goldenberry incluyen *Pythium sp.*, *Cercospora physalidis* y *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) Además, el fruto también puede verse afectado por patógenos en la postcosecha, como *Botrytis sp.*, *Cladosporium*, *Pestalotia* y *Phomopsis* (Quiroga & Kirschbaum, 2021). *Candidatus Liberibacter*: Bacteria fitopatógena detectada en el exocarpo (superficie del fruto) del Goldenberry, especialmente en frutos provenientes del campo. Su presencia se asocia con posibles alteraciones en la salud vegetal y riesgos para la inocuidad alimentaria. Aunque no se observaron síntomas directos en los frutos, su detección sugiere un potencial papel patogénico (Tenea & Molina, 2024). *Xanthomonas spp.*: Bacteria fitopatógena asociada al desarrollo de la “mancha grasienta” en el cultivo de Goldenberry. Produce lesiones oscuras y de aspecto aceitoso en el cáliz y, en ocasiones, en hojas, reduciendo la calidad comercial del fruto. Su incidencia se relaciona con condiciones de alta humedad y temperaturas moderadas (20-24 °C). El manejo integrado incluye la eliminación de restos vegetales y la desinfección de herramientas para prevenir la diseminación.

Fisiopatía

La principal fisiopatía es el rajado del fruto, y se asocia con deficiencia de calcio y fluctuaciones en el suministro de agua, afectando la integridad de la epidermis del fruto. La aplicación precosecha de calcio y giberelinas mejora la firmeza y reduce significativamente la incidencia de rajado, contribuyendo a una mejor calidad comercial del fruto (Fischer et al., 2022)

1.7 Microorganismos benéficos

Frente al desafío de una producción sostenible, el uso de microorganismos beneficiosos se ha convertido en una herramienta clave para la agroecología y la intensificación agrícola sostenible.

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) establecen una simbiosis mutualista con las raíces, extendiendo una red de hifas que mejora radicalmente la absorción de agua y nutrientes (especialmente fósforo y zinc) a cambio de carbohidratos, su inoculación aumenta el crecimiento, rendimiento y

tolerancia a sequía y salinidad en cultivos clave (Begum et al., 2019). Por su parte, los hongos *Trichoderma* actúan como agentes de biocontrol mediante parasitismo, competencia e inducción de defensas en la planta, reduciendo enfermedades y la necesidad de fungicidas químicos (Kashyap et al., 2017).

Las microalgas y cianobacterias (algas verde-azules) son biofertilizantes fotosintéticos de gran valor agronómico, especies como *Anabaena* y *Nostoc* fijan nitrógeno atmosférico, solubilizan fosfatos y producen hormonas de crecimiento, vitaminas y sustancias que mejoran la estructura del suelo su inoculación aumenta la materia orgánica, la retención de agua y la biodiversidad edáfica, promoviendo el desarrollo vegetal (Renuka et al., 2018).

Las levaduras, más allá de las fermentaciones, se usan en agricultura como bioprotectores y biofertilizantes. Colonizan rápidamente superficies como hojas y frutos, compitiendo y excluyendo patógenos como *Botrytis cinérea*, además, secretan metabolitos que estimulan las defensas y el crecimiento vegetal, su aplicación en frutales y viñedos reduce pérdidas por enfermedades y extiende la vida útil postcosecha (Freimoser et al., 2019).

1.7.1 Rizobacterias

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), conocidas por su influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas, pueden estimular el desarrollo vegetal tanto de forma directa como indirecta. Estas bacterias emplean diversos mecanismos interconectados para generar relaciones beneficiosas, especialmente con las raíces de las plantas a las que colonizan (Yang et al., 2024).

Mecanismos de acción de las PGPR:

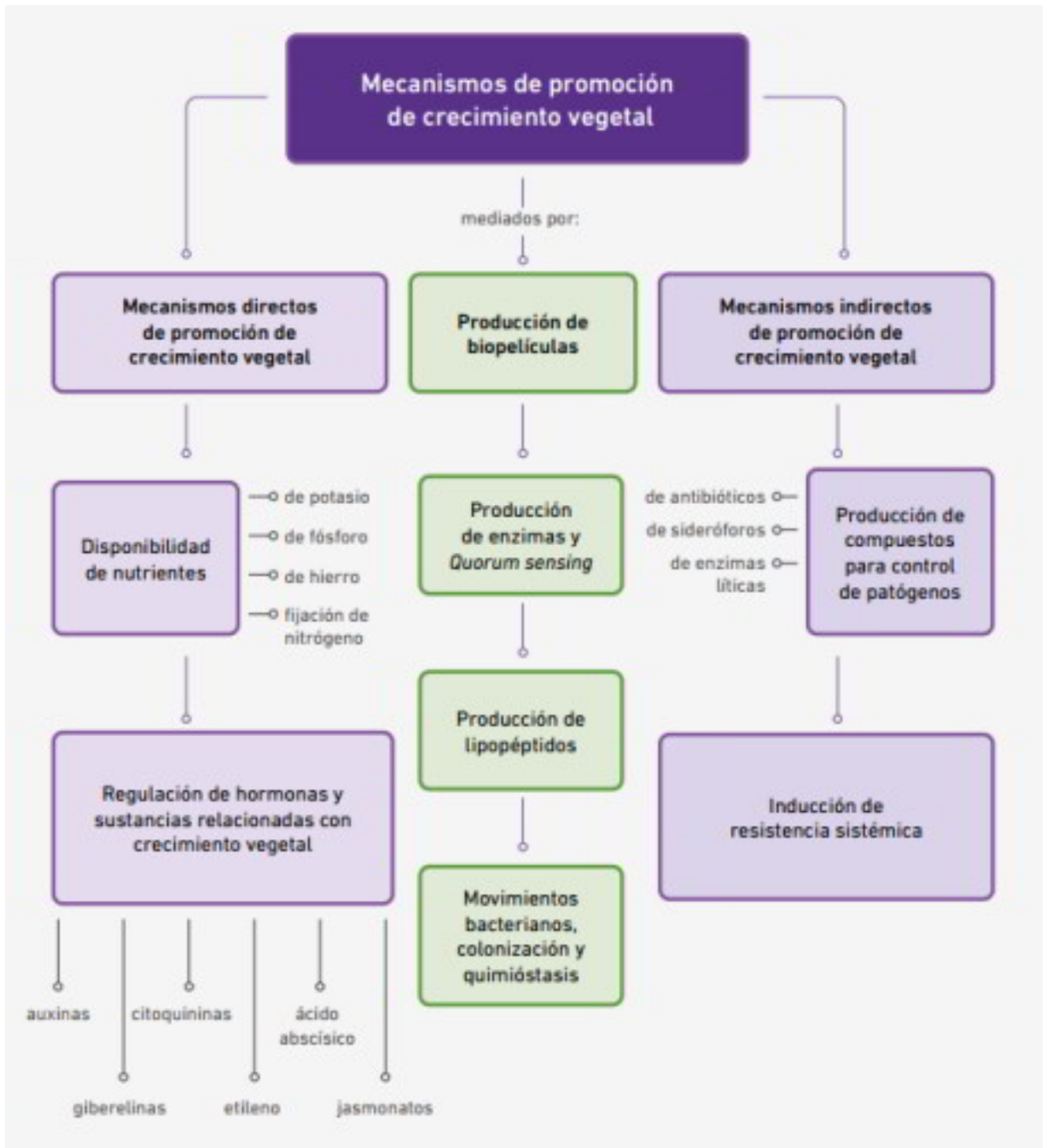


Figura 2. Mecanismos directos e indirectos de promoción del crecimiento vegetal por las PGPR. Fuente: Posada-Urbe et al. (2021).

- Fijación de nitrógeno: Algunas pueden convertir el N atmosférico en una forma utilizable para las plantas, como ocurre con *Rhizobium* en leguminosas (Moreno-Reséndez et al., 2018).

- Producción de fitohormonas: Estimulan el crecimiento mediante la producción de auxinas, giberelinas y citoquininas (Sánchez-Carrillo & Guerra-Ramírez, 2022).
- Solubilización de fosfatos y otros nutrientes: Facilitan la absorción de nutrientes esenciales.
- Inducción de resistencia sistémica (ISR): Activan los mecanismos de defensa de la planta contra patógenos.
- Producción de sideróforos: Secuestran hierro del suelo, volviéndolo disponible para las plantas, y evitando que otros patógenos lo utilicen (Bhattacharyya & Jha, 2012).

Las fitohormonas son compuestos orgánicos que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas a nivel bioquímico, fisiológico y morfológico, se agrupan en cinco principales categorías: auxinas, giberelinas, etileno, ácido abscísico y citoquininas, y pueden influir en múltiples procesos como la germinación, la elongación celular y la resistencia a factores ambientales.

Algunas rizobacterias tienen la capacidad de sintetizar fitohormonas. Sin embargo, en ciertos casos, esta producción está asociada con microorganismos patógenos que utilizan estas sustancias para facilitar la infección en sus hospederos (Sánchez-Carrillo & Guerra-Ramírez, 2022).

A continuación, se mencionan las principales Fitohormonas y su función.

Auxinas (AIA - Ácido Indolacético): Regulan el crecimiento vegetal, la diferenciación vascular y el desarrollo de órganos, su síntesis en rizobacterias como *Azotobacter sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.* y *Azospirillum sp.* ocurre a partir del triptófano mediante diferentes rutas metabólicas.

Giberelinas: Estimulan la elongación de los tallos, la germinación y la floración. Son producidas principalmente por plantas, aunque algunas bacterias como *Azospirillum brasilense* y *Bacillus sp.* pueden sintetizarlas en pequeñas cantidades (Murali et al., 2021).

Citoquininas: Regulan la división celular y la formación de órganos. Se producen en el tejido radicular y en microorganismos como *Bacillus sp.*, influyendo en el crecimiento vegetal.

Etileno: Afecta la maduración, senescencia y caída de órganos en las plantas. Algunas bacterias como *Pseudomonas syringae* pueden sintetizarlo mediante rutas metabólicas independientes de las plantas, aunque su papel en la interacción planta-microorganismo aún no está completamente esclarecido.

Indirectamente las PGPR pueden contribuir mediante la inducción de la resistencia sistémica a fitopatógenos, el control biológico de enfermedades, la producción de antibióticos y de sideróforos (Bhattacharyya & Jha, 2012).

1.7.2. Géneros más destacados

Pseudomonas

Las bacterias de este género son organismos aeróbicos, gramnegativos y quimioheterótrofos, con forma de bacilo y capacidad de movimiento. Pertenecen a la clase Gammaproteobacteria y a la familia *Pseudomonadaceae*, la cual incluye alrededor de 191 especies diferentes ((Sánchez-Carrillo & Guerra-Ramírez, 2022)

Tienen una gran versatilidad metabólica que les permite colonizar diversos ambientes terrestres y acuáticos.

Funciones agrícolas de *Pseudomonas spp.*

Como PGPR

- Producen fitohormonas como (AIA), lo que favorece el desarrollo radicular y vegetativo.
- Participan en la solubilización de fósforo mediante la producción de ácidos orgánicos, como el glucónico y el cítrico.
- Poseen capacidad diazotrófica, es decir, fijan nitrógeno atmosférico.

Control biológico

- Secretan antibióticos como 2,4-diacetilfluoroglucinol (DAFG), mupirocina y pioluteorina (Sánchez-Carrillo & Guerra-Ramírez, 2022).
- Producen sideróforos como la pioverdina, que mejora la adquisición de hierro.
- Generan lipopéptidos cíclicos como la viscosina y la orfamida A, que afectan la membrana celular de los fitopatógenos (Geudens et al., 2016).

Efecto de Resistencia Sistémica Inducida (RSI)

- *Pseudomonas* puede estimular la defensa de las plantas mediante la producción de lipopolisacáridos y sideróforos como la pioverdina.
- Factores como el ácido jasmónico y el etileno participan en la regulación de esta respuesta.

Las bacterias *Pseudomonas spp.* son aliadas valiosas en la agricultura, ya que no solo mejoran el crecimiento vegetal, sino que también ofrecen una alternativa ecológica al uso de agroquímicos. Su capacidad para inducir resistencia en las plantas y su producción de compuestos antimicrobianos las convierten en herramientas clave para la bioprotección y biofertilización agrícola (Sánchez-Carrillo & Guerra-Ramírez, 2022).

Achromobacter

Este género pertenece a la familia Alcaligenaceae y está compuesto por bacterias gramnegativas, aeróbicas y móviles. Se encuentran en diversos ambientes, como suelos, aguas y la rizosfera de plantas. Su capacidad metabólica las hace relevantes en la agricultura, ya que algunas especies han demostrado ser PGPR mediante la fijación de nitrógeno, la solubilización de fosfatos y la producción de fitohormonas.

Ha sido reportado anteriormente como un género con propiedades promotoras del crecimiento vegetal en especies forestales altoandinas colombianas (Gaviria-Giraldo et al., 2018).

Además, junto con *Enterobacter* spp., se ha descrito su capacidad de solubilizar fosfato y fijar nitrógeno, características esenciales para su potencial uso en biofertilizante

En otros estudios, se ha encontrado que algunas especies de *Achromobacter* pueden producir fitohormonas como (AIA), lo que favorece el crecimiento radicular de las plantas (Gaviria-Giraldo et al., 2018).

Mecanismos de PGPR

- Fijación de nitrógeno: Incorporan nitrógeno atmosférico en formas asimilables para las plantas.
- Producción de compuestos indólicos: Algunas cepas generan fitohormonas como el AIA, que estimula el crecimiento de raíces (Attar et al., 2019).
- Solubilización de fosfatos: Liberan ácidos orgánicos que convierten el fósforo insoluble en formas disponibles para las plantas.
- Interacción en la rizosfera: Compiten con fitopatógenos, favoreciendo el establecimiento de comunidades microbianas beneficiosas.

Las bacterias del género *Achromobacter* presentan importantes características que las convierten en microorganismos de interés agrícola. Su capacidad de fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos y producción de fitohormonas las posiciona como candidatas ideales para el desarrollo de biofertilizantes.

Estudios como el de Gaviria-Giraldo et al (2018) proporcionan evidencia sobre su funcionalidad en la rizosfera de la zanahoria y abren el camino para futuras investigaciones orientadas a su aplicación en la agricultura sostenible.

Enterobacter

El género *Enterobacter* pertenece a la familia Enterobacteriaceae y está compuesto por bacterias gramnegativas, facultativamente anaeróbicas y móviles. Son ubicuas en el medio ambiente y han demostrado potencial como PGPR, ya que pueden fijar nitrógeno, solubilizar fósforo y producir fitohormonas.

En el ámbito agrícola, las bacterias del género *Enterobacter* pueden actuar como endófitas, residiendo dentro de los tejidos de las plantas sin causarles daño. Estas bacterias pueden promover el crecimiento vegetal al producir fitohormonas, facilitar la absorción de nutrientes y suprimir patógenos.

Por ejemplo, algunas especies de *Enterobacter* han mostrado potencial en la bioremediación de contaminantes y en la promoción del crecimiento de plantas al solubilizar fosfatos y fijar nitrógeno.

El artículo de Vasquez-Lavariaga & Moreno-Reséndez (2018) estudian la inoculación de *Enterobacter xianfangensis* en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* P. Mill.) bajo condiciones de malla sombra, donde evaluó el efecto de esta rizobacteria en el crecimiento y rendimiento del cultivo, realizando dos aplicaciones a los 7 y 26 días después del trasplante, utilizando una concentración de 1×10^8 UFC mL⁻¹.

Otros estudios han demostrado que *Enterobacter spp.* poseen mecanismos benéficos para la agricultura:

- Fijación de nitrógeno: Algunas especies pueden fijar nitrógeno atmosférico en formas asimilables para las plantas.
- Solubilización de fosfatos: Pueden liberar fosfato inorgánico a partir de compuestos insolubles en el suelo, facilitando su absorción.
- Producción de fitohormonas: Generan (AIA), que estimula el crecimiento radicular.
- Inducción de resistencia sistémica: Se ha reportado que pueden activar mecanismos de defensa en plantas frente a patógenos (Bhattacharyya & Jha, 2012).

Biofertilizantes a base de rizobacterias y su importancia

Las PGPR son capaces de mejorar el crecimiento de las plantas mediante diversos mecanismos, y tienen la habilidad de colonizar rápidamente el sistema

radicular, favoreciendo tanto el crecimiento como el rendimiento de los cultivos (Li et al., 2022).

Estas bacterias representan entre el 2 y el 5% de las bacterias presentes en la rizósfera, y abarcan géneros como *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Chromobacterium*, *Enterobacter*, entre otros (Ahemad & Kibret, 2014).

Las rizobacterias promueven el crecimiento vegetal a través de mecanismos directos e indirectos. Los mecanismos directos incluyen la mejora de la disponibilidad de nutrientes esenciales para la planta, tales como la fijación de nitrógeno, la solubilización de fósforo inorgánico, la mineralización de fosfatos orgánicos, y la síntesis de fitohormonas y enzimas que mejoran el metabolismo vegetal (Moreno-Reséndez et al., 2018).

Además, incrementan la permeabilidad de las raíces, lo que optimiza la absorción de nutrientes y agua, ayudando así a la planta a resistir condiciones de estrés ambiental y mejorando su rendimiento general.

Consortios de PGPR

Las PGPR son microorganismos benéficos que colonizan la rizosfera y estimulan el crecimiento de las plantas mediante mecanismos como la solubilización de nutrientes, la producción de fitohormonas y la modulación del etileno (Lopera-Yepes & Rodríguez-Núñez, 2023).

Un consorcio de PGPR se define como la combinación de varias cepas bacterianas compatibles que actúan de manera cooperativa para brindar múltiples beneficios fisiológicos y nutrimentales a la planta (Ortega-García et al., 2025).

El uso de consorcios de PGPR es fundamental para una agricultura sostenible, ya que la interacción entre varias cepas amplía el rango de mecanismos benéficos.

Por ejemplo, los consorcios pueden mejorar la disponibilidad de nutrientes como fósforo y hierro mediante la solubilización y la producción de sideróforos

(Redondo-Gómez et al., 2021). Asimismo, se ha demostrado que incrementan la tolerancia al estrés abiótico, incluyendo sequía y salinidad, gracias a la acción complementaria de las cepas

Además, su actividad conjunta puede ejercer biocontrol frente a patógenos del suelo, como *Fusarium oxysporum*, fortaleciendo la sanidad vegetal (Zurita et al., 2023). Estos sistemas microbianos son también ecológicamente estables, pues imitan comunidades naturales que optimizan el uso de energía y reducen la carga metabólica individual (Ortega-García et al., 2025).

El uso de una sola cepa PGPR ofrece beneficios limitados a sus mecanismos particulares, y puede fallar bajo condiciones adversas, ya sea por sensibilidad al estrés o por competencia con la microbiota nativa (Ortega-García et al., 2025), mientras que un consorcio brinda una gama más amplia de funciones, y contribuyen al manejo sostenible del suelo y a la reducción de fertilizantes sintéticos (Vishwakarma et al., 2020).

Por lo que, las PGPR representan una herramienta clave para la agricultura sustentable. Su capacidad para mejorar el crecimiento vegetal, aumentar la resistencia al estrés y controlar enfermedades las convierte en aliados esenciales en la producción de alimentos de manera más ecológica y eficiente. Además, su uso contribuye a enfrentar desafíos como el agotamiento del suelo, la contaminación ambiental y la inseguridad alimentaria (Moreno-Reséndez et al., 2018).

Al mejorar la productividad de los cultivos y proteger los ecosistemas, las rizobacterias se consolidan como una solución viable y sostenible, sin embargo, su adopción generalizada requiere inversión en investigación y educación para garantizar su uso óptimo en distintos sistemas de cultivo.

Es fundamental fomentar su aplicación a nivel comercial y académico, promoviendo la transición hacia una agricultura más verde y menos dependiente de productos químicos sintéticos (Vishwakarma et al., 2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en la zona experimental del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), localizada al sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México.

El sitio de estudio se encuentra situado en las coordenadas geográficas 25° 35' 45" de latitud norte y 101° 03' 63" de longitud oeste, a una altitud aproximada de 1742 msnm.

En la región el suelo se caracteriza por ser calcáreo, alcalino y de textura arcillo-limosa. Estos suelos presentan buena capacidad de retención de agua, aunque pueden mostrar problemas de compactación y drenaje si no se manejan adecuadamente. Predominan suelos como Litosoles, Xerosoles, Regosoles y Yermosoles, muchos de ellos derivados de materiales aluviales y calizos, lo que favorece un pH elevado y la presencia de carbonatos según la SIIAEC (2022).

La zona presenta un clima semiárido y templado, caracterizado por precipitaciones bajas y concentradas en verano, con un promedio anual cercano a los 350 mm. Las temperaturas son moderadas, con inviernos fríos donde pueden registrarse heladas y veranos cálidos. La humedad relativa suele ser baja durante gran parte del año, y la radiación solar es elevada, condiciones típicas del altiplano de México.

según Tutiempo Network (2021).

- Temperatura media mínima anual: 11.8 °C según registros climatológicos.
- Temperatura media máxima anual: 28 °C según los mismos registros.
- Humedad relativa media anual: 45.7% según datos de la estación de Saltillo.

2.2. Lugar y acondicionamiento

Las plantas se establecieron en un invernadero de baja tecnología tipo asimétrico, equipado con cubierta de polietileno para permitir una adecuada entrada de luz y protección contra condiciones climáticas adversas.

El cultivo se manejó en suelo con acolchado plástico de color plata, cuyo uso contribuye a disminuir la temperatura del suelo, reducir la evaporación y limitar la emergencia de malezas, además de un sistema de riego por goteo con cintilla.

Previo al establecimiento del cultivo, se realizó una limpieza completa del área interna del invernadero, retirando residuos vegetales, materiales plásticos y cualquier elemento que pudiera interferir con las labores agrícolas.

Posteriormente, se efectuaron labores de barbecho y rastreo manual, complementadas con el uso de un motocultor, lo que permitió desmenuzar terrones y mejorar la estructura del suelo, estas actividades tuvieron como propósito obtener una cama de siembra más homogénea y con mayor porosidad, facilitando la aireación y el desarrollo radicular.

El suelo fue removido a una profundidad de 25-30 cm, permitiendo romper capas compactadas y favorecer una mejor infiltración y retención del agua.

Durante esta preparación se eliminaron malezas, restos de acolchado plástico deteriorado, terrones grandes y raíces remanentes, dejando un perfil limpio y suelto, apto para el trasplante.

2.3. Material vegetal

Se utilizaron semillas de Goldenberry (*Physalis peruviana* L.) pertenecientes a dos ecotipos de interés: Sacha originario de Ecuador, y Chiclayo originario de Perú.

Los ecotipos son poblaciones que exhiben adaptaciones locales hereditarias a un hábitat particular, pero que permanecen conectadas genéticamente a otras poblaciones de la misma especie a través del flujo génico (Lowry, 2015).

La siembra se realizó a partir de semilla durante abril del año 2023, estableciéndose en charolas de poliestireno de 200 cavidades, usando turba de Sphagnum (Premier Tech Horticulture) y perlita (Hortiperl de Termolita) en proporción 70:30 (v/v) como sustrato, lo cual proporcionó un volumen adecuado para el desarrollo inicial del sistema radicular y un manejo uniforme de plántulas.

2.4. Descripción de tratamientos

El experimento se estructuró bajo un diseño de bloques al azar, con 12 tratamientos y 4 repeticiones, integrando los ecotipos de Sacha y Chiclayo y diferentes esquemas de inoculación con rizobacterias en combinación con niveles de fertilización química

Para cada ecotipo se aplicó un consorcio de rizobacterias compuesto por *Pseudomonas sp.*, *Enterobacter sp.* y *Achromobacter sp.* (BN), así como un bioinsumo comercial (Bio-Organik Pseudomonas®) a base de *Pseudomonas fluorescens* (PF) ambos aplicados a una concentración equivalente de 1×10^8 UFC mL^{-1} . Estos tratamientos se combinaron con dosis de 25 y 50% de la solución nutritiva Steiner, además de dos testigos que recibieron únicamente fertilización química (FQ) (Cuadro 2).

Previo a la instalación del ensayo, las rizobacterias del consorcio BN fueron colectadas de suelos calcáreos de la región de General Cepeda, Coahuila, e identificadas molecularmente mediante secuenciación del ARNr 16S (Chávez-Arteaga et al., 2018). Asimismo, se evaluó su compatibilidad a través del método de “botón en césped” (Bauer et al., 1966), confirmando la ausencia de antagonismo entre las cepas seleccionadas.

Durante el ciclo de cultivo se realizaron tres aplicaciones de los microorganismos, con un intervalo de seis semanas entre aplicaciones. Estas se realizaron a un volumen de 20 mL por planta, vía riego (al pie de cada planta).

Cuadro 2. Tratamientos establecidos en invernadero en el cultivo de Goldenberry, con dos Ecotipos Sacha y Chiclayo y fertilización química reducida.

Tratamiento	Rizobacteria	Solución nutritiva	Ecotipo	Acrónimo
1	Sin Consorcio	25	Sacha	S-SC+25% FQ
2	Sin Consorcio	50	Sacha	S-SC+50% FQ
3	Consorcio <i>Pseudomonas</i> sp.	25	Sacha	S-BN+25% FQ
4	Consorcio <i>Pseudomonas</i> sp.	50	Sacha	S-BN+50% FQ
5	<i>P. fluorescens</i> (C)	25	Sacha	S-PF+25% FQ
6	<i>P. fluorescens</i> (C)	50	Sacha	S-PF+50% FQ
7	Sin Consorcio	25	Chiclayo	Ch-SC+25% FQ
8	Sin Consorcio	50	Chiclayo	Ch-SC+50% FQ
9	Consorcio <i>Pseudomonas</i> sp.	25	Chiclayo	Ch-BN+25% FQ
10	Consorcio <i>Pseudomonas</i> sp.	50	Chiclayo	Ch-BN+50% FQ
11	<i>P. fluorescens</i> (C)	25	Chiclayo	Ch-PF+25% FQ
12	<i>P. fluorescens</i> (C)	50	Chiclayo	Ch-PF+50% FQ

Donde C es igual a producto comercial.

2.5. Sistema de riego y fertilización

El riego de las plantas se llevó a cabo mediante un sistema de riego por goteo continuo, diseñado para asegurar un suministro uniforme y eficiente de agua y nutrientes. Cada punto de riego contó con un emisor con caudal de 1 L h⁻¹, colocados a una distancia de 30 cm entre sí a lo largo de las líneas de cultivo.

Como fuente de nutrición se aplicó solución nutritiva Steiner en dos concentraciones, 25 y 50%, de acuerdo con los tratamientos establecidos experimentalmente.

Esta solución es ampliamente utilizada en horticultura debido a su equilibrio iónico y su capacidad para mantener una adecuada disponibilidad de macro y micronutrientes en sistemas de riego presurizados.

La formulación aplicada estuvo compuesta por los siguientes fertilizantes y aditivos:

- Nitrato de potasio (KNO_3), como fuente de potasio y nitrógeno.
- Fosfato monopotásico (KH_2PO_4), utilizado para aportar fósforo y potasio de alta solubilidad.
- Nitrato de calcio tetra-hidratado ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), esencial para el suministro de calcio disponible y nitrógeno.
- Nitrato de magnesio ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$), para cubrir los requerimientos de magnesio y nitrógeno.
- Mezcla de micronutrientes (Ultrasol Micro Mix®), que asegura el aporte balanceado de Fe, Mn, Zn, Cu, B y Mo.
- Ácido nítrico al 85% (HNO_3) y ácido sulfúrico al 90% (H_2SO_4), utilizados para ajustar el pH de la solución y evitar la precipitación de sales.

2.6. Manejo del Cultivo

Como sustrato se empleó una mezcla compuesta por turba de Sphagnum (Premier Tech Horticulture) y perlita mineral (Hortiperl, Termolita) en proporción 2:1, respectivamente. Esta combinación se seleccionó por su capacidad para ofrecer una alta retención de humedad, adecuada aireación y buena estabilidad física. Las charolas se mantuvieron bajo condiciones controladas hasta que las plántulas alcanzaron el tamaño y el desarrollo adecuados para su posterior trasplante al invernadero.

El trasplante se realizó a los 60 días después de la siembra (dds) en junio del 2023, momento en el que las plántulas presentaban un desarrollo radicular y foliar adecuado para su establecimiento definitivo en el invernadero. Inmediatamente después del trasplante se aplicó una solución de aminoácidos (Hortikem Enzymax 180®) a todos los tratamientos con el propósito de reducir el estrés por trasplante y favorecer una recuperación rápida del sistema radicular.

Las plantas se distribuyeron siguiendo un arreglo topológico de 150 cm entre surcos y 50 cm entre plantas, establecidas en doble hilera, lo que permitió alcanzar una densidad de 26,666 plantas por hectárea.

El manejo del cultivo incluyó una conducción a cuatro tallos, empleando un sistema de entutorado tipo holandés, el cual facilita la distribución uniforme del follaje, mejora la penetración de luz y optimiza las labores de manejo y cosecha.

Para mantener la estructura deseada de la planta, asegurar una adecuada ventilación del dosel, reducir la humedad relativa dentro del follaje y disminuir la incidencia potencial de plagas y enfermedades se realizaron podas de brotes basales y laterales cada tres semanas. La floración inició entre los 35 y 40 días después del trasplante (ddt) en Julio de 2023.

2.6.1. Control Fitosanitario

Se basó en la aplicación continua de repelentes e insecticidas de origen orgánico, suministrados vía foliar cada 2 días a una dosis de 5 mL L⁻¹. Estas formulaciones incluían aceites parafínicos, aceite de neem y extractos naturales de ajo, chile y canela, todos ellos ricos en compuestos bioactivos con propiedades insecticidas y repelentes. Además de su acción directa, varios de estos extractos presentan efectos alelopáticos, es decir, liberan sustancias químicas naturales capaces de interferir en el comportamiento, alimentación o establecimiento de ciertos insectos plaga, contribuyendo a disminuir su presencia sin causar toxicidad al cultivo ni al agroecosistema (Kamanga et al., 2025).

Este manejo se complementó con el uso de barreras vivas formadas por plantas aromáticas y de flor, como hierbas y especies ornamentales, que funcionaron como una línea de protección adicional alrededor del cultivo.

En conjunto, ambos métodos (la aplicación de extractos orgánicos y el establecimiento de barreras vivas) permitieron mantener las plagas alejadas del cultivo sin recurrir al uso de insecticidas químicos. Esto favoreció un manejo más sostenible, seguro e inocuo. La eliminación de malezas se hizo de manera manual entre hilera.

2.8. Variables evaluadas

2.8.1 Altura de planta. Se realizó con la ayuda de un flexómetro marca Pretul de 3 m de longitud, midiendo desde la base del tallo hasta la yema más alta de la planta.

2.8.2 Número de hojas. Se hizo un conteo de todas las hojas verdaderas y desarrolladas, siguiendo el tallo principal de la planta y solo uno de los cuatro tallos secundarios.

2.8.3 Longitud de entrenudos. Esta variable es la distancia entre dos nudos, en el tallo principal debajo de la bifurcación que originó los tallos secundarios, se registró con el uso de un vernier digital marca Mitutoyo.

2.8.4 Diámetro del tallo. De forma similar se midió con un vernier digital marca Mitutoyo, en el mismo lugar del tallo se tomaron los datos, dos nudos debajo de la bifurcación que originó los tallos secundarios.

Estas cuatro variables fueron tomadas a los 30, 45, 60, 75 y 90 ddt

2.8.5 Área foliar. Hojas totalmente desarrolladas de la parte media de la planta se midieron con la ayuda del programa “Petiole Pro”, y una cámara digital.

2.8.6 Peso fresco de hoja. Esta variable fue medida con el promedio de varias hojas de la parte media de la planta, usando una balanza digital marca Rhino.

2.8.7 Peso seco de hoja. Las hojas usadas en la medición del peso fresco, fueron secadas al sol por un periodo de 7 a 10 días, y posteriormente pesadas usando una balanza digital marca Rhino.

2.9. Análisis Estadístico

Los datos se analizaron bajo un diseño de bloques completos al azar, en arreglo factorial, teniendo 3 factores: la rizobacteria aplicada, con tres niveles (el testigo sin rizobacteria (N), el consorcio de *Pseudomonas* sp. (BN), y el producto comercial a base de *Pseudomonas fluorescens* (PF)), la dosis de fertilización, con dos niveles: 25, y 50%, y el ecotipo, con los niveles: Sacha, y Chiclayo. El análisis de varianza en cada variable comparó las medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el programa Minitab 19.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Altura de la planta

Como se puede apreciar en la Figura 3, los datos demuestran que, en esta variable en las primeras dos mediciones de altura, a los 30 y 45 ddt, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$). La altura fue aumentando gradualmente, pero sin variación estadística atribuible a los tratamientos.

Sin embargo, en la tercera medición a los 60 ddt, se encontraron diferencias significativas ($p = 0.014$), destacando el tratamiento 10 (Ch-BN+50% FQ) como el de mayor altura, seguido de los tratamientos 6 (S-PF+50% FQ) y 4 (S-BN+50% FQ). Con respecto al tratamiento 1 (S-SC+25% FQ), en una diferencia del 16.96% respecto al tratamiento más alto y más bajo. En la cuarta medición 75 ddt también hubo significancia estadística ($p = 0.039$), con los tratamientos 6, 5 (S-PF+25% FQ) y 10 mostrando mayores promedios, respecto al tratamiento 1, aunque sin separación clara entre todos ellos.

En la última medición, a los 90 ddt, nuevamente no hubo diferencias significativas ($p = 0.109$), aunque los tratamientos 11 (Ch-PF+25% FQ), 6 y 5 presentaron las alturas más elevadas.

Los resultados indican que la planta mostró un crecimiento progresivo en todas las evaluaciones, pero la respuesta a los tratamientos solo fue evidente a los 60 y 75 ddt. Esto sugiere que los tratamientos tienen mayor efecto cuando la planta se encuentra en su fase de crecimiento más activo, posiblemente porque al inicio el crecimiento depende de reservas fisiológicas y al final la variabilidad natural de la planta aumenta, reduciendo la sensibilidad a los tratamientos.

El hecho de que se vea significancia a los 60 y 75 ddt, pero no al inicio (30, 45 ddt) ni al final (90 ddt), puede explicarse con base en la fisiología de la uchuva. Según un informe sobre la fisiología del cultivo de uchuva, esta planta puede alcanzar de forma natural alturas de 1 a 1.5 m, y su porte depende del manejo, la nutrición y el ciclo fenológico (Balaguera-Lopez et al., 2024).

El comportamiento observado coincide con lo reportado para especies del género *Physalis*, donde las PGPR han demostrado mejorar parámetros de crecimiento vegetativo, siempre y cuando existan condiciones adecuadas de colonización y una demanda fisiológica activa. Por ello, los resultados sugieren que las PGPR aplicadas actuaron principalmente como bioestimulantes en el momento de mayor desarrollo estructural de la planta (Vargas, 2025).

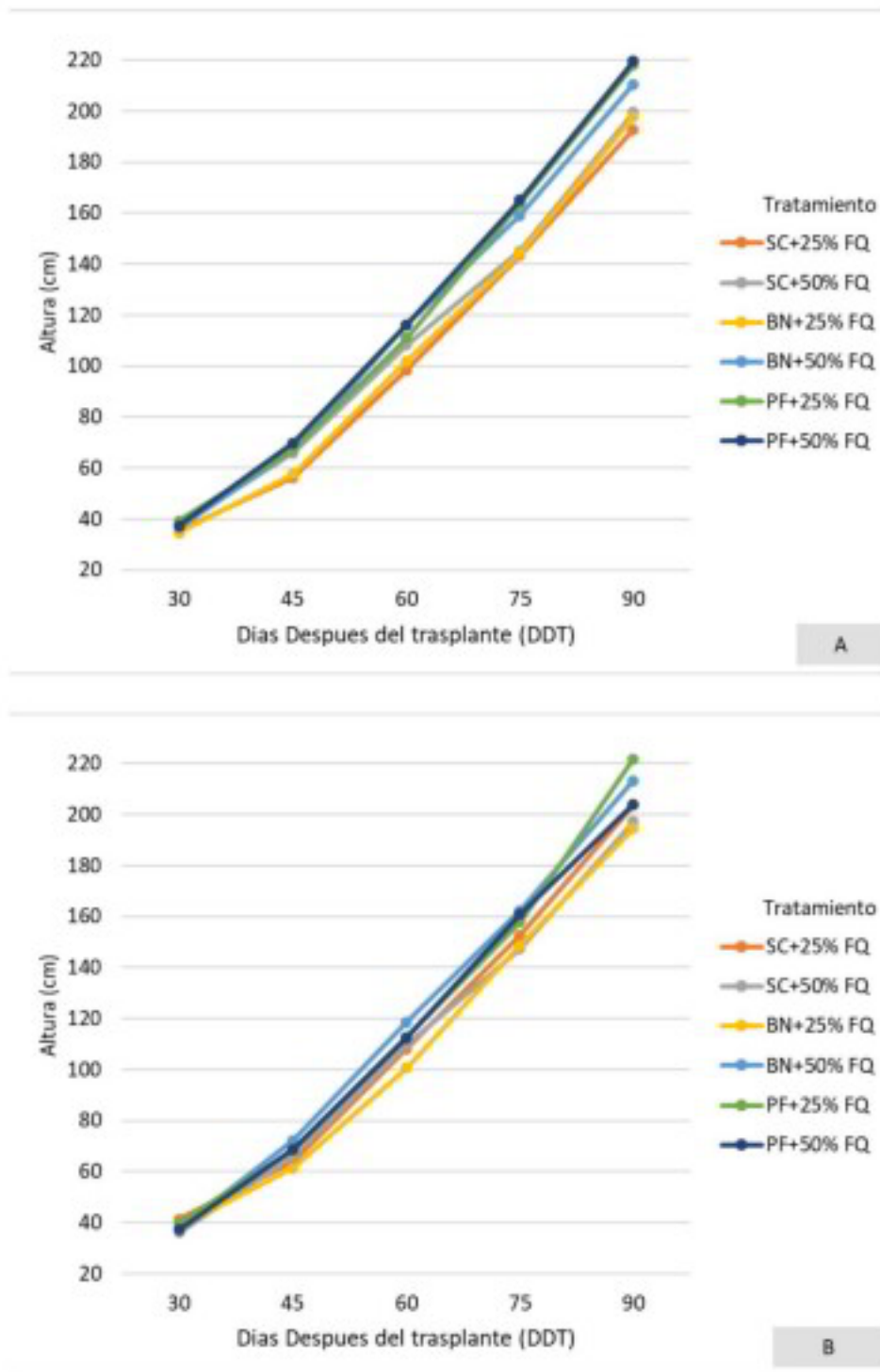


Figura 3. Efecto de las PGPR y fertilización química reducida en la altura de planta de goldenberry, ecotipos Sacha marcado con la letra A y Chiclayo marcado con la letra B.

3.2. Número de hojas

Como se puede apreciar en la Figura 4. a los 30 ddt, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.961$). El número promedio de hojas varió ligeramente entre 10.1 y 11.6, y la prueba de Tukey agrupó a todos los tratamientos en una sola categoría.

A los 45 ddt, se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$). Los tratamientos presentaron valores promedio entre 13.6 y 16.75 hojas, destacando los tratamientos 12 (Ch-PF+50% FQ), 10 y 9 (Ch-BN+25% FQ) con el mayor número de hojas, respecto al tratamiento 3 (S-BN+25% FQ), con una diferencia del 18.65%.

A los 60 ddt, también se observaron diferencias significativas ($p = 0.027$). El tratamiento 10 mostró el mayor número de hojas (19.87), seguido del tratamiento 4, respecto de las medias de los tratamientos 3 y 2 (S-SC+50% FQ), con una diferencia del 16.98%.

A los 75 ddt, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.490$). El número de hojas se mantuvo entre 16.6 y 18.3 por planta. Finalmente, a los 90 ddt, tampoco se observaron diferencias significativas ($p = 0.404$). Los valores oscilaron entre 16.1 y 18.8 hojas, destacando con valores mayores el tratamiento 6.

En estas etapas intermedias, los tratamientos 12, 10 y 9 destacaron por producir mayor cantidad de hojas, lo que puede relacionarse con una mejor respuesta fisiológica o una mayor eficiencia en el uso de las PGPR o del manejo aplicado. Diversos estudios han demostrado que las PGPR promueven el desarrollo foliar mediante la mejora en la absorción de nutrientes, la síntesis de fitohormonas y el aumento de la actividad metabólica (Yang et al., 2024).

En contraste, en las últimas dos evaluaciones no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos, lo cual indica que, hacia el final del desarrollo, el número de hojas tiende a estabilizarse y la variabilidad natural entre plantas aumenta. En un estudio de crecimiento en invernadero con *P. peruviana*,

(Aguilar-Carpio et al., 2018) observaron que el número de hojas por planta y el área foliar respondieron a diferentes concentraciones de solución nutritiva Steiner, con una mayor producción de hojas en tratamientos intermedios y altos en nutrientes.

Esto coincide con los resultados: en las etapas medias 45 y 60 ddt, la expansión celular es más acelerada, los tratamientos parecen favorecer esta expansión foliar (más hojas), debido a que podrían aumentar la disponibilidad de nutrientes (o mejorar su uso), permitiendo a la planta generar más hojas cuando su crecimiento es más activo (Taiz et al., 2023).

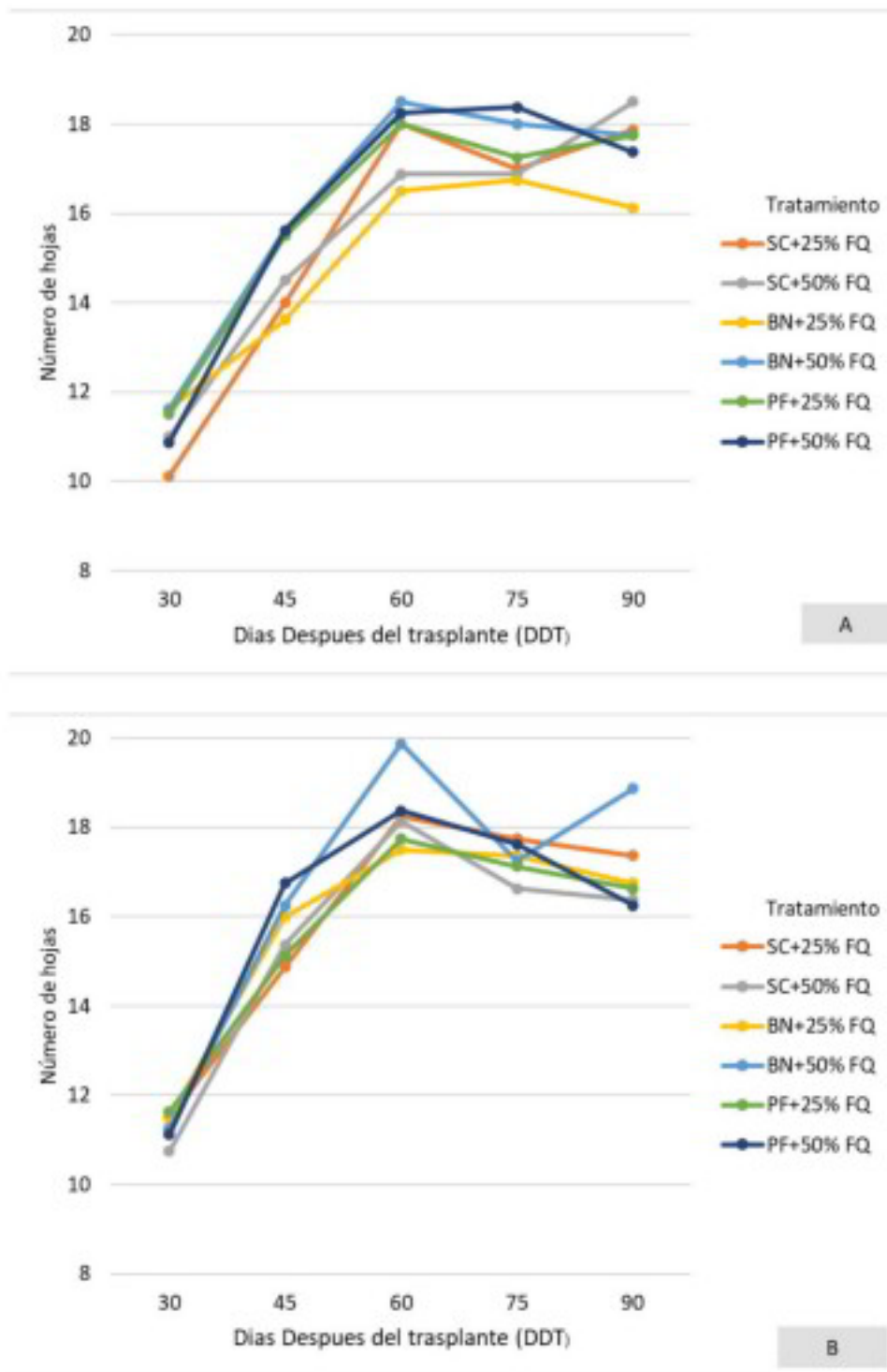


Figura 4. Efecto de las PGPR y fertilización química reducida en número de hojas en la planta de goldenberry, ecotipos Sacha marcado con la letra A y Chiclayo marcado con la letra B.

3.3. Longitud Entre Nudos

Como se puede apreciar en la Figura 5. el análisis estadístico mostró que, en las primeras tres mediciones de longitud de entrenudo a los 30, 45 y 60 ddt, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.746$) ($p = 0.155$) ($p = 0.552$) respectivamente. Aunque las medias variaron ligeramente entre tratamientos, la prueba de Tukey clasifica a todos los valores dentro de un mismo grupo estadístico.

En los 75 ddt, correspondiente a una etapa más avanzada del crecimiento, tampoco se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.179$). Los promedios oscilaron entre 3.12 y 3.61 cm. Finalmente, en los 90 ddt, nuevamente no hubo diferencias significativas ($p = 0.258$). Aunque el tratamiento 1 o testigo presentó el mayor valor promedio (4.81 cm), seguido del tratamiento 6.

Los resultados obtenidos muestran que la longitud de entrenudo presentó un crecimiento continuo a lo largo del ciclo, pero sin diferencias estadísticas, lo que sugiere que la variable no fue sensible a los tratamientos aplicados. Es deseable que los valores no sean muy elevados, ya que cuando el entrenudo es demasiado largo la planta tiende a alargarse excesivamente, lo que puede reducir el número de yemas productivas y, por lo tanto, disminuir el potencial de cosecha (Criollo et al., 2014).

La tendencia general mostró que algunos tratamientos presentaron valores consistentemente mayores, por ejemplo, el tratamiento 5 en los 30 ddt, y el tratamiento 6 en los 45 ddt, pero estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Esto coincide con estudios donde la longitud de entrenudo suele exhibir alta variabilidad entre plantas de un mismo tratamiento, lo cual dificulta la detección de efectos aún bajo esquemas experimentales controlados (Fischer et al., 2014).

Además, estudios recientes demuestran que el alargamiento del entrenudo depende de la coordinación entre auxinas y giberelinas, donde las auxinas pueden estimular la biosíntesis de ácido giberélico en los tejidos jóvenes del tallo;

si los tratamientos no influyeron en esta interacción hormonal, es coherente que los entrenados crecieran de manera progresiva pero homogénea (Alcantara-Cortes et al., 2019).

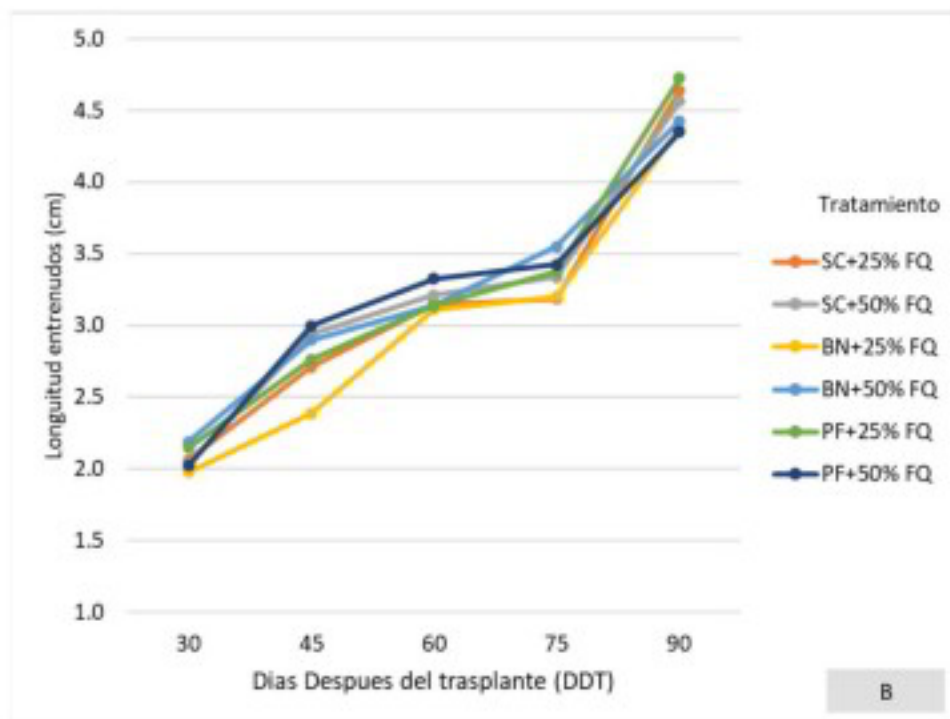
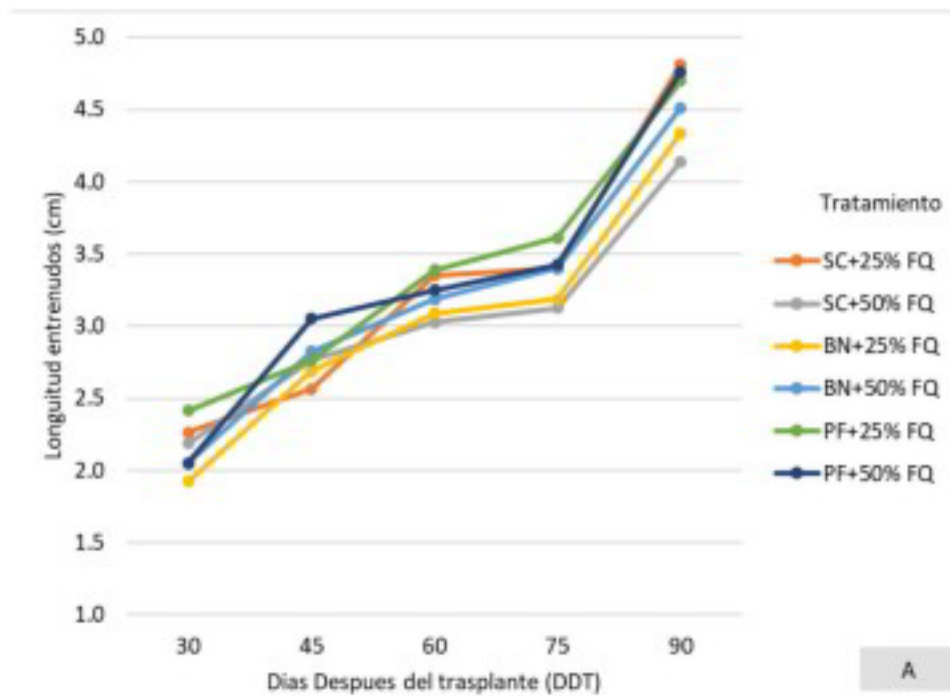


Figura 5. Efecto de las PGPR y fertilización reducida en la longitud de entrenudos de goldenberry, ecotipos Sacha marcado con la letra A y Chiclayo marcado con la letra B.

3.4. Diámetro de Tallo

Como se puede apreciar en la Figura 6. en el análisis estadístico del diámetro de tallo mostró que, a los 30 ddt, no hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.290$). Aunque los promedios oscilaron entre 6.26 y 7.85 mm.

A los 45 ddt, el ANOVA (véanse Anexos), mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p = 0.001$). Los tratamientos 4, 6 presentaron los diámetros más elevados, respecto al tratamiento 1 que registró el menor valor, con una diferencia del 39.83%.

En los 60 ddt se observaron diferencias significativas ($p = 0.003$). Los tratamientos 4, 10, y 6 volvieron a posicionarse con los valores más altos, respecto a los tratamientos 1 y 9, que registraron los diámetros más bajos, con una diferencia del 17.46%.

A los 75 ddt el valor de $p = 0.075$ indicó ausencia de diferencias significativas, aunque el tratamiento 6 obtuvo la mayor media (20.37 mm). En cambio, a los 90 ddt se detectaron diferencias significativas ($p = 0.011$). Los tratamientos 4, 10 y 2 registraron los mayores valores de diámetro de tallo, respecto al tratamiento 1, con una diferencia del 15.25%, presentando nuevamente el menor promedio.

La ausencia de significancia en la primera evaluación es consistente con lo que señalan Fischer et al. (2014), quienes explican que, en *Physalis peruviana*, el crecimiento inicial depende principalmente del vigor fisiológico y del establecimiento radicular, por lo que las diferencias asociadas al manejo suelen manifestarse hasta etapas más avanzadas.

Desde un punto de vista fisiológico, el diámetro del tallo está estrechamente relacionado con la acumulación de biomasa y la lignificación progresiva, procesos altamente influenciados por el microambiente y la disponibilidad de nutrientes. Esta influencia explica por qué ciertos tratamientos, como el 4, 10, 6 se asociaron consistentemente con mayores valores en varios muestreos (Taiz et al., 2023).

Además, el engrosamiento del tallo también está regulado por la interacción de hormonas como las auxinas y las giberelinas, las cuales modulan la actividad del

cambium vascular y la diferenciación de tejidos vasculares secundarios; aquí es donde las PGPR tienen un rol importante, pues promueven la inducción de genes asociados a la producción de estas fitohormonas, que regulan el crecimiento radicular y la división celular (Zhang et al., 2024).

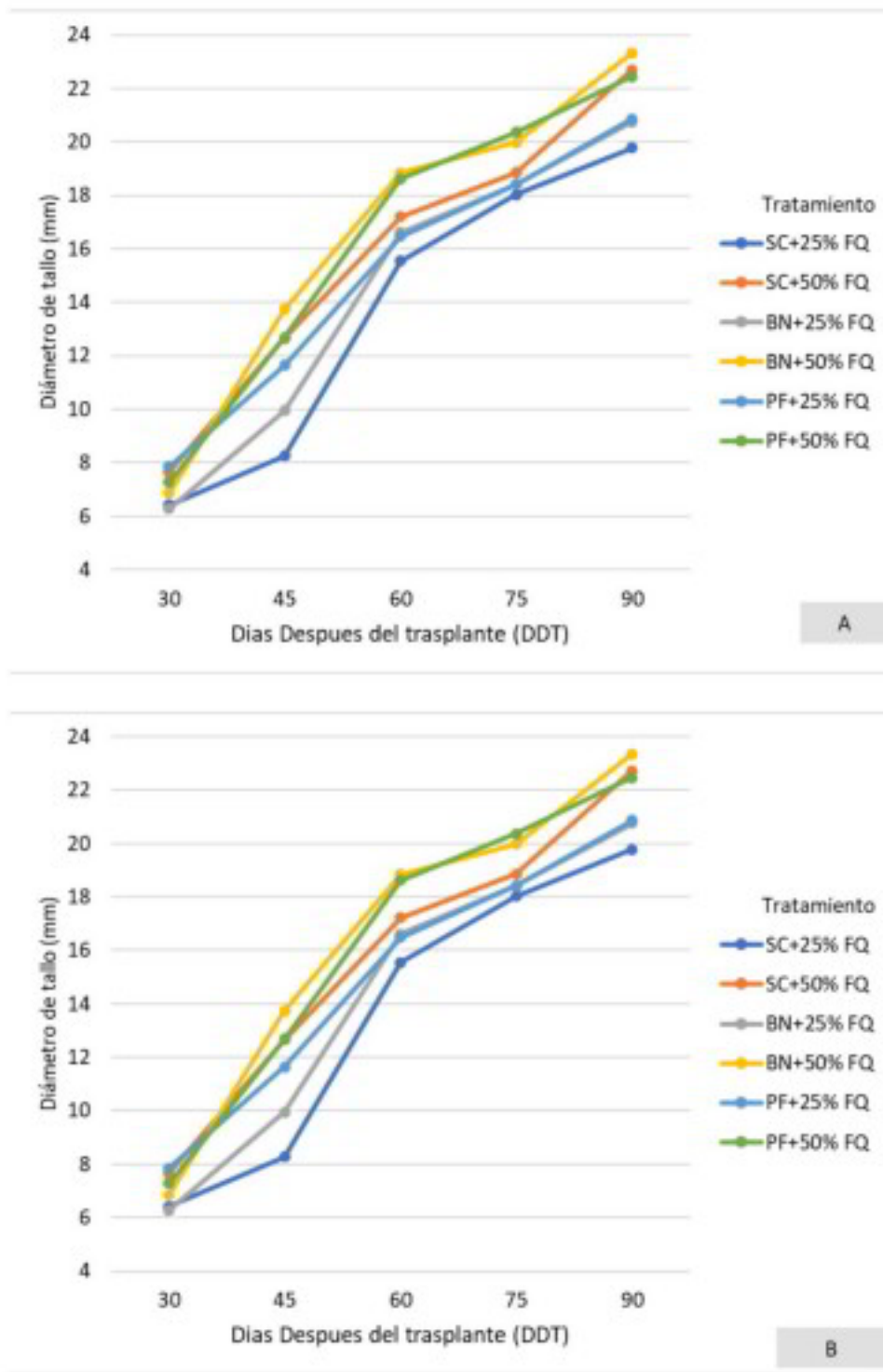


Figura 6. Efecto de las PGPR y fertilización reducida en el diámetro de tallo de goldenberry, ecotipos Sacha marcado con la letra A y Chiclayo marcado con la letra B.

3.5. Área Foliar

El ANOVA (véanse Anexos) mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p = 0.488$).

La desviación estándar agrupada fue de 33.19 cm^2 , valor que refleja la variabilidad promedio de todos los tratamientos. Considerando que las medias oscilaron entre 284.8 cm^2 y 329.4 cm^2 (Figura 5), esta desviación indica una variación moderada a alta. Por lo tanto, las mediciones individuales de área foliar se desviaban típicamente unos $\pm 33.19 \text{ cm}^2$ de la media general (Figura 7).

En esta variable pueden obtenerse valores muy dispares debido a las condiciones de manejo específicas, por ejemplo, en otros estudios en invernadero, se reportan valores aproximados de 200 cm^2 por hoja (Aguilar-Carpio et al., 2018), sin embargo, estos son mayores respecto a lo obtenido en campo abierto en Goldenberry y especies cercanas, donde generalmente varía de 50 a 120 cm^2 (Morales-Rosales et al., 2022).

Este comportamiento puede deberse a mecanismos de compensación morfológica, ya que muchas especies vegetales ajustan su crecimiento foliar para mantener la funcionalidad fotosintética aún bajo condiciones contrastantes (Muir et al., 2017).

Asimismo, la ausencia de efecto significativo coincide con trabajos donde la plasticidad foliar permite a las plantas mantener áreas foliares similares pese a variaciones en manejo, nutrientes o condiciones ambientales (Murchie & Lawson, 2013). Esto sugiere que los tratamientos utilizados no fueron lo suficientemente contrastantes para provocar una respuesta diferencial.

Fenómenos fisiológicos como la asignación de biomasa, el estado hídrico, el microambiente, en este trabajo, en condiciones de invernadero y alta densidad, o incluso diferencias genéticas pueden influir en el desarrollo foliar, tal como reportan Lambers & Oliveira (2019).

Además, la ausencia de diferencias significativas en el área foliar también puede relacionarse con el modo en que las PGPR influyen en el desarrollo de la planta;

unque estas bacterias pueden mejorar la absorción de nutrientes y estimular la síntesis de fitohormonas, sus efectos no siempre se traducen en aumentos directos del tamaño foliar, especialmente cuando las condiciones de cultivo ya permiten un crecimiento óptimo, es así que las PGPR tienden a favorecer procesos relacionados con el vigor, biomasa y eficiencia fisiológica más que incrementos específicos en rasgos morfológicos como el área foliar (Backer et al., 2018).

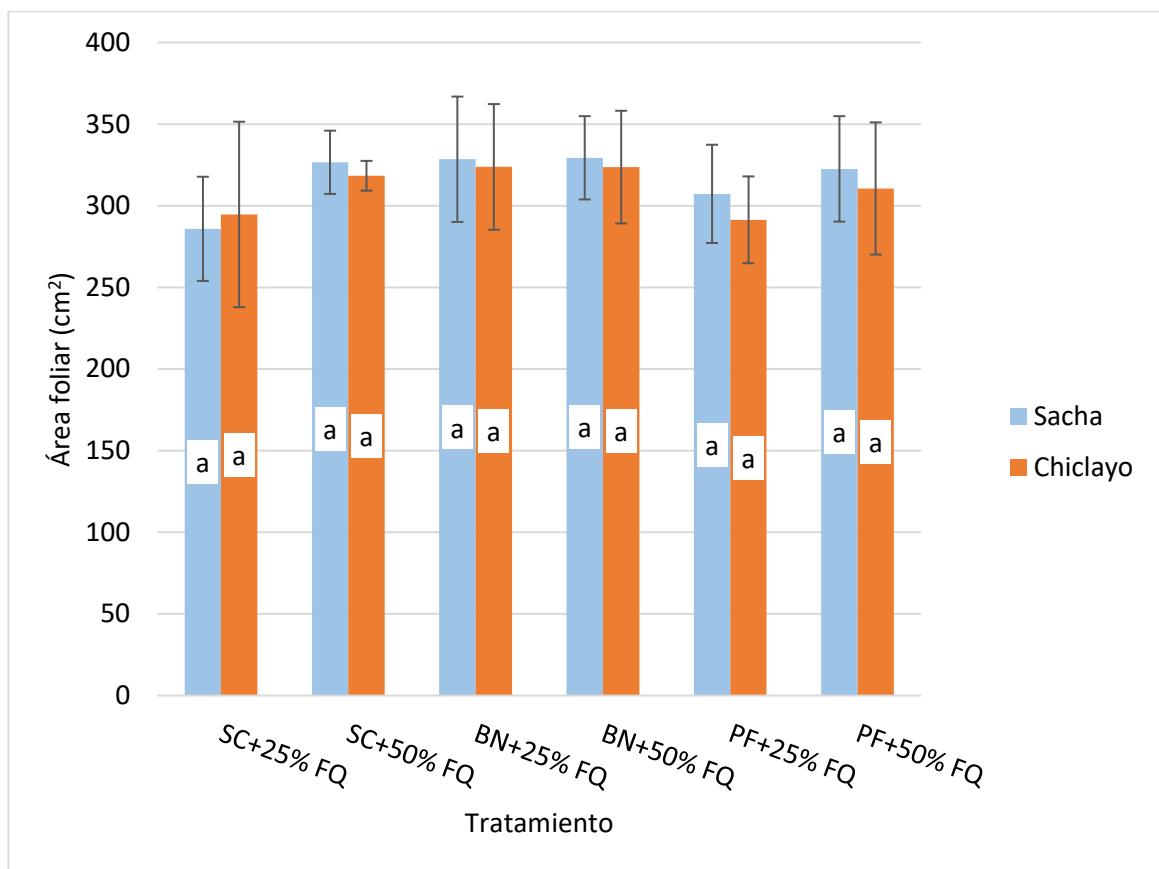


Figura 7. Efecto de las PGPR y fertilización reducida en el área foliar de goldenberry establecido en invernadero. Valores con letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan la desviación estándar.

3.6 Peso Fresco de Hojas

Como se puede apreciar en la Figura 8, no hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.762$). Esto indica que las variaciones observadas en las medias de peso fresco no pueden atribuirse al efecto del tratamiento aplicado.

Las medias de peso fresco oscilaron entre 6.32 g en el tratamiento 7 (Ch-SC+25% FQ) y 7.25 g en el tratamiento 3, con desviación estándar agrupada de 0.87 g

El peso fresco es un parámetro fundamental para evaluar el crecimiento vegetal, pues representa la masa total de los tejidos, reflejando el estado hídrico y el vigor general de la planta. Su medición es relevante porque permite estimar de manera indirecta la biomasa acumulada, ya que el contenido de agua y el desarrollo estructural suelen correlacionarse con la actividad fotosintética y la eficiencia metabólica (Marschner, 2012).

La importancia del peso fresco radica en que las variaciones en este indicador reflejan cambios en la turgencia, la absorción de nutrientes y la expansión celular, procesos esenciales para el crecimiento vegetativo (Taiz et al., 2023). Por ello, es una variable clave para determinar el desempeño fisiológico en diferentes condiciones de manejo.

Las PGPR influyen positivamente en el peso fresco al estimular la producción de fitohormonas, mejorar la disponibilidad de nutrientes y favorecer el desarrollo radicular. Estos mecanismos incrementan la acumulación de biomasa y el crecimiento de los tejidos, lo que se traduce en plantas con mayor peso fresco (Bhattacharyya & Jha, 2012).

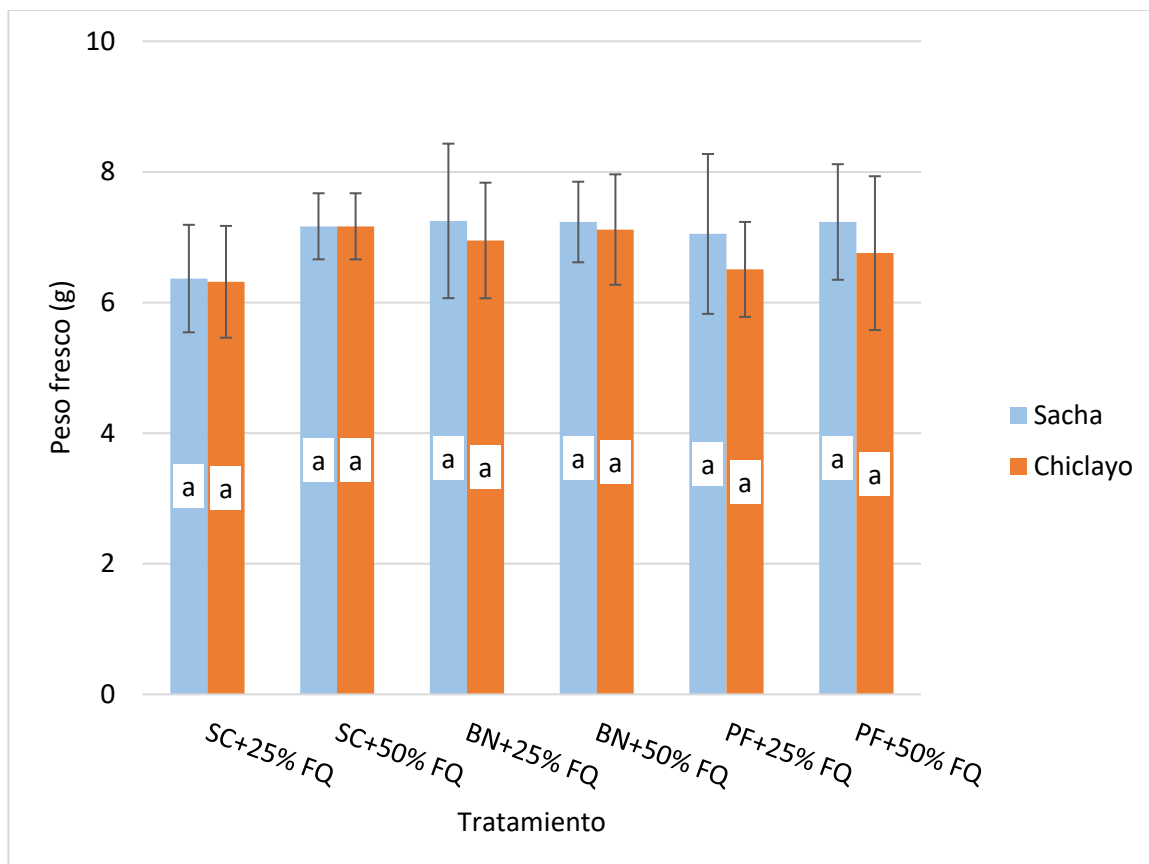


Figura 8. Efecto de las PGPR y fertilización reducida en el peso fresco de goldenberry establecido en invernadero. Valores con letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan la desviación estándar.

3.7 Peso seco de hoja

El ANOVA (véanse Anexos) aplicado al peso seco no mostró diferencias significativas ($p=0.094$). Las medias variaron entre 0.83 g en el tratamiento 1 y 1.22 g en el tratamiento 10 el cual se puede apreciar en la Figura 9.

En primer lugar, la falta de diferencia significativa podría deberse a que los tratamientos no generaron un estímulo suficiente para modificar la acumulación de biomasa, ya que el peso seco es una medida directa de la biomasa, porque representa únicamente la materia orgánica acumulada una vez que el agua ha sido eliminada. A diferencia del peso fresco, este parámetro no varía por

condiciones hídricas, por lo que refleja de manera precisa el crecimiento real de la planta (Taiz et al., 2023).

Dado que el peso seco corresponde a los compuestos estructurales y metabólicos producidos por la planta, se considera el indicador más confiable para cuantificar la biomasa total (Marschner, 2012). La literatura señala que respuestas significativas en peso fresco y seco se observan cuando los tratamientos actúan sobre procesos clave como fotosíntesis, translocación de fotoasimilados o contenido hídrico. Si el nivel de estrés o estimulación no supera cierto umbral fisiológico, las plantas tienden a mantener un crecimiento estable (Lambers y Oliveira, 2019). Además, la ausencia de diferencias claras entre tratamientos podría indicar que, gracias a las PGPR, las plantas mantuvieron mecanismos homeostáticos eficientes; muchas especies poseen estrategias de asignación de biomasa que les permiten sostener el crecimiento foliar incluso en presencia de variación ambiental o nutricional (Lambers y Oliveira, 2019).

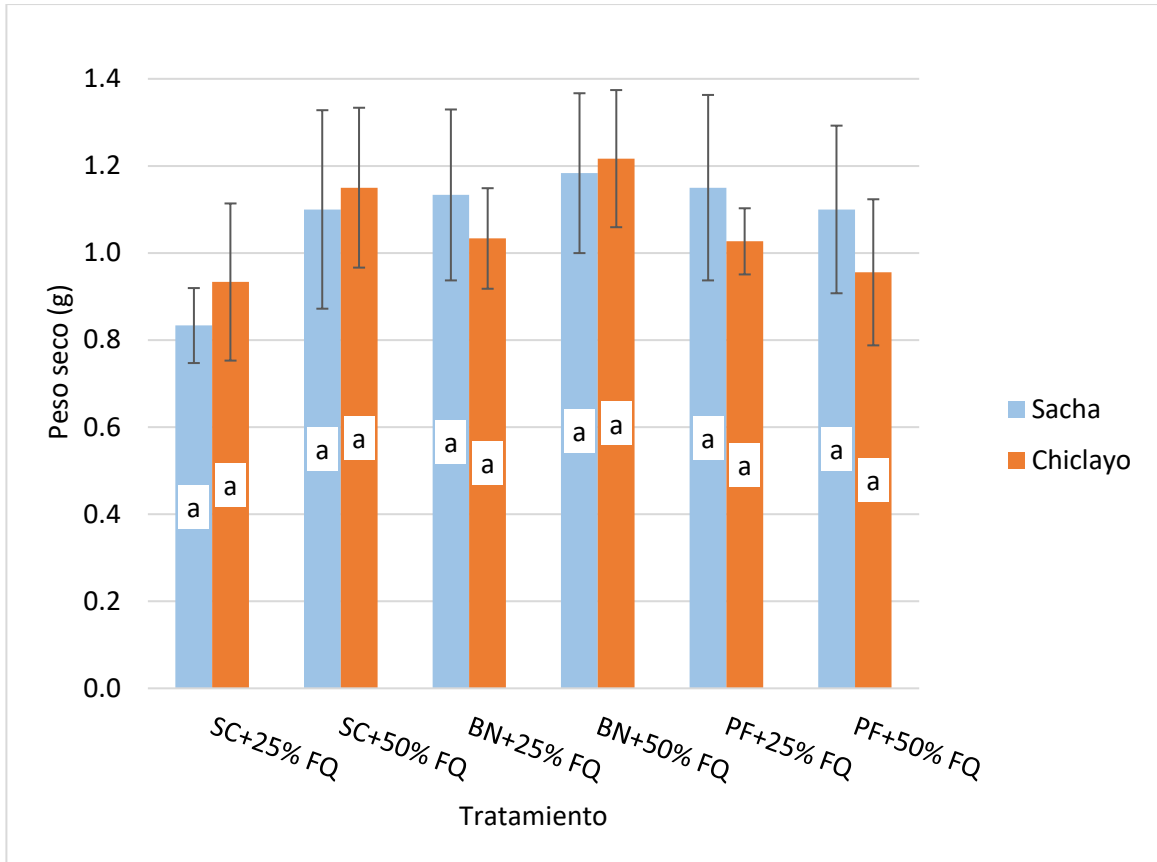


Figura 9. Efecto de las PGPR y fertilización reducida en el peso seco de goldenberry establecido en invernadero. Valores con letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan la desviación estándar.

CONCLUSIÓN

El establecimiento de dos ecotipos de Goldenberry en invernadero fue satisfactorio, aportando información relevante para su manejo y cultivo en la región de Saltillo, Coahuila, México. La aplicación de rizobacterias, en combinación con una fertilización reducida al 50%, incrementa el crecimiento de la planta (la altura, el número de hojas y el diámetro del tallo a los 60 días después del trasplante), posicionando al cultivo de goldenberry como una alternativa sustentable para los sistemas de producción bajo invernadero en la región.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Carpio, C., Juárez-López, P., Campos-Aguilar, I. H., Alia-Tejacal, I., Sandoval-Villa, M., López-Martínez, V. (2018). Analysis of growth and yield of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) grown hydroponically under greenhouse conditions. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 24(3), 191-202. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2017.07.024>
- Ahemad, M., & Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University – Science*, 26(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.05.001>
- Alcantara-Cortes, J. S., Acero-Godoy, J., Alcántara-Cortés, J. D., & Sánchez-Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32), 109-129. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-24702019000200109&script=sci_arttext
- Ali, A., & Singh, B. P. (2013). Potentials of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.): An under-exploited small fruit in India. *The Asian Journal of Horticulture*, 8(2), 775-777. Disponible en: https://researchjournal.co.in/upload/assignments/8_775-777.pdf
- Attar, I. E., Taha, K., Bekkay, B. E., Khadir, M. E., Alami, I. T., & Aurag, J. (2019). Screening of stress tolerant bacterial strains possessing interesting multi-plant growth promoting traits isolated from root nodules of *Phaseolus vulgaris* L. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 20, 101225. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101225>
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S., & Smith, D. L. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>

- Balaguera-Lopez, H. E., Fischer, G. & Magnitskiy, S. (2024). Chapter 11 Physiology and biochemistry of the *Physalis peruviana* fruit p. 121-137. En Ramadan M. F. (ed.) Handbook of Goldenberry (*Physalis peruviana*). Cultivation, Processing, Chemistry, and Functionality, First Edition. Academic Press an imprint of Elsevier, UK-USA. <https://doi.org/10.1016/C2022-0-00016-7>
- Bauer, A. W., Kirby, W. M., Sherris, J. C., & Turck, M. (1966). Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. *American Journal of Clinical Pathology*, 45(4): 493-496. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/ajcp/45.4 ts.493>
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1068. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4), 1327-1350. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9>
- Campos de Melo, A. P., Fernandes, P. M., Silva-Neto, C. M., Ferreira, G. A., & Seleguini, A. (2018). First record of *Chloridea (Heliothis) subflexa* (Lepidoptera: Noctuidae: Heliothinae) on cape gooseberry (*Physalis peruviana*) in Brazil. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 267-272. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.6269>
- Chávez-Arteaga, K. T., Guato-Molina, J., Peñafiel-Jaramillo, M., Mestanza-Uquillas, C., & Canchignia-Martínez, H. F. (2018). Bacterias fluorescentes productoras de metabolitos antagónicos de cultivares nativos de *Musa* sp. y su diversidad filogenética al gen ARNr 16S. *Ciencia y Tecnología*, 11, 17-29. <https://doi.org/10.18779/cyt.v11i2.232>

- Coronel, C. P. A. (2016). Plan de negocios para la “Creación de una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de mermeladas hechas a base de uvillas en la ciudad de Quito”. Trabajo de titulación para optar el título de Ing. en Negocios Internacionales. Universidad de Las Américas – UDLA, Quito, Ecuador. Disponible en: <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/4878/1/UDLA-EC-TINI-2016-43.pdf>
- Criollo, H., Lagos, T. C., Fischer, G., Mora, L., Zamudio, L. (2014). Comportamiento de tres genotipos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo diferentes sistemas de poda. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(1), 34-43. <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i1.2798>
- Crosley, L., Henríquez, J. M., Parra, F., Pacheco, P., Escobar, H., & Parra, C. (2019). Rescate del cultivo de Goldenberry (*Physalis peruviana*) en los Andes del norte de Chile. *Idesia (Arica)*, 37(4), 115-118. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000400115>
- Domínguez-Velázquez, A., Robledo-Torres, V., Mendoza-Villarreal, R., & Guajardo-Paz, I. (2020). Uso de rizobacterias en la producción de *Physalis peruviana* L. en invernadero. Tesis presentada para obtener el grado de Ing. Agr. en Horticultura. *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*, Saltillo, Coah., México. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/handle/123456789/47563>
- El-Morsy, M. H. & Osman, H. E. (2024). Chapter 8 Morphological characteristics of *Physalis peruviana* L. p. 87-94. En Ramadan M. F. (ed.) *Handbook of Goldenberry (Physalis peruviana). Cultivation, Processing, Chemistry, and Functionality*, First Edition. Academic Press an imprint of Elsevier, UK-USA. <https://doi.org/10.1016/C2022-0-00016-7>
- Espinosa-Rodríguez, M., Sandoval-Villa, M., García-Cruz, E., Antúnez-Ocampo, O., Pérez-Pacheco, R., Sabino-López, J. E. (2020). El mercado de la

uchuwa en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8), 1789-1802. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2228>

Fischer, G., & Miranda, D. (2012). Uchuwa (*Physalis peruviana* L.). Capítulo 4 El cultivo de las especies frutales en Colombia p. 851-873. En Fischer G. (ed.) Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá D.C., Colombia. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Gerhard-Fischer-2/publication/257920345_Uchuwa_Physalis_peruviana_L/links/5e7a6d20a6fdcc57b7bba718/Uchuwa-Physalis-peruviana-L.pdf

Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J., & Miranda, D. (2014). Importancia y cultivo de la uchuwa (*Physalis peruviana* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36, 01-15. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-441/13>

Fischer, G., Parra-Coronado, A., & Balaguera-López, H. E. (2022). Altitude as a determinant of fruit quality with emphasis on the Andean tropics of Colombia. A review. *Agronomía Colombiana*, 40(2), 212-227. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n2.101854>

Freimoser, F. M., Rueda-Mejía, M. P., Tilocca, B., & Migheli, Q. (2019). Biocontrol yeasts: Mechanisms and applications. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35(10), 154. <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2728-4>

Gaviria-Giraldo, J., Restrepo-Franco, G., Galeano-Vanegas, N., & Hernández-Rodríguez, A. (2018). Bacterias diazotróficas con actividad promotora del crecimiento vegetal en *Daucus carota* L. *Ciencia y Agricultura*, 15(1), 19-27. <https://doi.org/10.19053/01228420.v15.n1.2018.7753>

Geudens, N., Nasir, M. N., Crowet, J.-M., Lins, L., Deleu, M., Martins, J., & Sinnaeve, D. (2016). Membrane interactions of natural cyclic lipopeptides. *Young Belgian Magnetic Resonance Scientist (YBMRS)*, 15th Symposium, Abstracts. Spa, Bélgica. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1854/LU-8520357>

- Guiné, R. P. F., Gonçalves, F. J. A., Oliveira, S. F., & Correia, P. M. R. (2020). Evaluation of Phenolic Compounds, Antioxidant Activity and Bioaccessibility in *Physalis Peruviana* L. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup2), S470-S490. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1741056>
- Kamanga, B. M., Cartmill, D. L., McGill, C., & Clavijo McCormick, A. (2025). Allelopathic Effects of *Moringa oleifera* Lam. on Cultivated and Non-Cultivated Plants: Implications for Crop Productivity and Sustainable Agriculture. *Agronomy*, 15(8), 1766. <https://doi.org/10.3390/agronomy15081766>
- Kashyap, P. L., Srivastava, A. K., Tiwari, S. P., & Kumar, S. (2017). *Trichoderma** for climate resilient agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(8), 155. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2319-1>
- Kiralan, M., Ketenoglu, O., & Sezer, K. S. (2024). Chapter 14 *Physalis peruviana* oil p. 157-163. En Ramadan M. F. (ed.) Handbook of Goldenberry (*Physalis peruviana*). Cultivation, Processing, Chemistry, and Functionality, First Edition. Academic Press an imprint of Elsevier, UK-USA. <https://doi.org/10.1016/C2022-0-00016-7>
- Lambers, H., & Oliveira, R. S. (2019). Plant Physiological Ecology. Third Edition. 736 p. Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-29639-1>
- Li, J., Wang, J., Liu, H., Macdonald, C. A., & Singh, B. K. (2022). Application of microbial inoculants significantly enhances crop productivity: A meta-analysis of studies from 2010 to 2020. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 1(3), 216-225. <https://doi.org/10.1002/sae2.12028>
- Lopera-Yepes, P. C., & Rodríguez-Núñez, J. R. (2023). Bacterias promotoras de crecimiento vegetal, importancia y avances en la agricultura. *Innovagro*, 1, 41-49. Disponible en: <https://revistas.sena.edu.co/index.php/INNOVAGRO/article/view/6153>

- Lowry, D. B. (2015). Ecotypes and the controversy over stages in the formation of new species. *Biological Journal of the Linnean Society*, 115(2), 1-12. <https://doi.org/10.1111/bij.12515>
- Marschner, P. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants (Third edition). 651 p. Academic Press, Elsevier Ltd. Waltham, MA 02451, USA. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>
- Martínez, M., Vargas-Ponce, O., Rodríguez, A., Chiang, F., & Ocegueda, S. (2017). Solanceae family in Mexico. *Botanical Sciences*, 95(1), 131-145. <https://doi.org/10.17129/botsci.658>
- Minagricultura. (2023). Estadísticas de producción agrícola: Uchuva (*Physalis peruviana*) - Años 2021 y 2022. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. Disponible en: <https://www.minagricultura.gov.co/paginas/default.aspx>
- Morales-Rosales, E. J., González-Salgado, B., López-Sandoval, J. A., & Morales-Morales, E. J. (2022). Índice de área foliar en genotipos silvestres de *Physalis* spp. en función de dos sistemas de cultivo: Índice de área foliar en *Physalis* spp. *Acta Universitaria*, 32, 1-13. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3329>
- Moreno-Reséndez, A., Carda-Mendoza, V., Reyes-Carrillo, J. L., Vásquez-Arroyo, J., & Cano-Ríos, P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1), 68-83. Disponible en: https://pesquisa.bvsalud.org/fiocruz/resource/pt/biblio-959859?utm_source
- Muir, C. D., Conesa, M. À., Roldán, E. J., Molins, A., & Galmés, J. (2017). Weak coordination between leaf structure and function among closely related tomato species. *The New phytologist*, 213(4), 1642-1653. <https://doi.org/10.1111/nph.14285>

- Murali, M., Singh, S. B., Gowtham, H. G., Shilpa, N., Prasad, M., Aiyaz, M., & Amruthesh, K. N. (2021). Induction of drought tolerance in *Pennisetum glaucum* by ACC deaminase producing PGPR- *Bacillus amyloliquefaciens* through Antioxidant defense system. *Microbiological Research*, 253, 126891. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126891>
- Murchie, E. H., & Lawson, T. (2013). Chlorophyll fluorescence analysis: A guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*, 64(13), 3983-3998. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert208>
- Nuñez-Zarantes, V. M., Rodriguez-Puertas, D., Luna-Mancilla, L. T. & Ramos-Zambrano, H. S. (2024). Chapter 5 Cape gooseberry: crop production system in Colombia p. 55-66. En Ramadan M. F. (ed.) Handbook of Goldenberry (*Physalis peruviana*). Cultivation, Processing, Chemistry, and Functionality, First Edition. Academic Press an imprint of Elsevier, UK-USA. <https://doi.org/10.1016/C2022-0-00016-7>
- Ortega-García, M., Ríos-Rocafull Y., Gil-Vidal J., Zelaya-Molina L., & Chávez-Díaz I. (2025). Consorcio bacteriano mejora la nodulación y el rendimiento de leguminosas cultivadas en suelos degradados. *Abanico Microbiano*, 2, 24-38. <https://doi.org/10.21929/abanicomicrobiano/2025.2>
- Posada-Uribe, L. F., Moreno-Galván, A. E., Santos-Torres, M. T., & Estrada-Bonilla, G. A. (2021). Capítulo 3. Mecanismos de promoción de crecimiento de las PGPB. p. 78-105. En Bonilla-Buitrago, R., González-de Bashan, L. E., & Pedraza, R. O. (eds.) Bacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal en Sistemas de Agricultura Sostenible, Primera Edición. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Mosquera (Colombia): AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7405019>
- Quiroga, R. J., & Kirschbaum, D. S. (2021). *Physalis* (goldenberry): native fruit species of the sub-Andean Yungas with high cultivation potential in

- Argentina. *Horticultura Argentina*, 40(102), 90-114. Disponible en: <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/b1hh3umjs>
- Redondo-Gómez, S., Mesa-Marín, J., Pérez-Romero, J. A., López-Jurado, J., García-López, J. V., Mariscal, V., Molina-Heredía, F. P., Pajuelo, E., Rodríguez-Llorente, I. D., Flowers, T. J., & Mateos-Naranjo, E. (2021). Consortia of Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria Isolated from Halophytes Improve Response of Eight Crops to Soil Salinization and Climate Change Conditions. *Agronomy*, 11(8), 1609. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081609>
- Renuka, N., Guldhe, A., Prasanna, R., Singh, P., & Bux, F. (2018). Microalgae as multi-functional options in modern agriculture: Current trends, prospects and challenges. *Biotechnology Advances*, 36(4), 1255-1273. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.04.004>
- Sanchez-Aguilar, A. B. (2019). Manejo de *Fusarium oxysporum* sp. *physali* y *Rhizoctonia solani* en *Physalis peruviana* L. mediante nutrición mineral. Tesis presentada como requisito para obtener el grado de Maestra en Ciencias. *Colegio de Postgraduados*, Texcoco, Edo. de México, México. 125 p. (p. 4) Disponible en: <http://193.122.196.39:8080/xmlui/handle/10521/4204>
- Sánchez-Carrillo, R., & Guerra-Ramírez, P. (2022). *Pseudomonas* spp. benéficas en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(4), 715-725. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2799>
- Seleem, E. A., & Nassar, R. M. A. (2021). Morphological and anatomical studies on *Physalis peruviana* L. and *Physalis ixocarpa* Brot. Exhornem. *Journal of Plant Production*, 12(11), 1179-1183. <https://doi.org/10.21608/jpp.2021.100328.1069>
- SIIAEC. (2022). Sistema Integral de Información Ambiental del Estado de Coahuila, Secretaría de Medio Ambiente de Coahuila. *Suelos de Coahuila*. Disponible en: <https://siiaec.sma.gob.mx/dg-suelos/>

- Taiz, L., Møller, I., Murphy, A., & Zeiger, E. (2023). *Plant Physiology and Development* (International Seventh Edition). 651 p. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/hesc/9780197614204.001.0001>
- Tenea, G. N., & Molina, D. (2024). Bacterial community structure of *Physalis peruviana* L. fruit exocarp and the presence of pathogens with possible implications on food safety. *Frontiers In Plant Science*, 15, 1410314. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1410314>
- Torres-Panqueva, W. F., & Cuéllar-Meneses, J. G. (2019). Diagnóstico de la problemática actual de enfermedades y plagas en el cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en dos unidades productivas del municipio de San José de Isnos, Huila. Trabajo de grado para optar por el título de Agrónomo. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pitalito, Colombia. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/28038>
- Tutiempo Network, S.L. (2021). Clima en Saltillo (*Estación 763900*). Disponible en: <https://pt.tutiempo.net/clima/2021/ws-763900.html>
- USDA. (2013). United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service. *Physalis peruviana* L. The Plants Database. Disponible en: <https://plants.usda.gov/plant-profile/PHPE4>
- Vargas, B. L. V. (2025). Efecto de *Bacillus* y *Pseudomonas* en la germinación y el crecimiento vegetal de *Physalis peruviana*. Desarrollo de un Proyecto Investigativo Disciplinar. Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14625/41711>
- Vasquez-Lavariega, L., & Moreno-Reséndez, A. (2018). Inoculación de *Enterobacter xianfangensis* como rizobacteria promotora del crecimiento vegetal en tomate (*Lycopersicon esculentum* P. Mill.), bajo condiciones de malla sombra. Tesis presentada para obtener el título de Ing. Agrónomo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón,

Coah., México. Disponible en:
<https://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/45586>

Vishwakarma, K., Kumar, N., Shandilya, C., Mohapatra, S., Bhayana, S. & Varma, A. (2020). Revisiting Plant-Microbe Interactions and Microbial Consortia Application for Enhancing Sustainable Agriculture: A Review. *Frontiers in Microbiology*, 11, 560406. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.560406>

Yang, P., Condrich, A., Scranton, S., Hebner, C., Lu, L., & Ali, M. A. (2024). Utilizing Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) to Advance Sustainable Agriculture. *Bacteria*, 3(4), 434-451. <https://doi.org/10.3390/bacteria3040030>

Yildiz, G., İzli, N., Ünal, H., & Uylaşer, V. (2015). Physical and chemical characteristics of goldenberry fruit (*Physalis peruviana* L.). *Journal of Food Science and Technology*, 52(4), 2320-2327. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1280-3>

Zambrano-Palomino, J. A. (2023). Influencia del Estado de Madurez en las Características de Color del Fruto de Aguaymanto (*Physalis Peruviana*). Tesis para optar el título de Ing. en Agroindustrias Alimentarias. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5830>

Zhang, Y., Wang, L., Wu, Y., Wang, D., & He, X. Q. (2024). Gibberellin promotes cambium reestablishment during secondary vascular tissue regeneration after girdling in an auxin-dependent manner in *Populus*. *Journal of Integrative Plant Biology*, 66(1), 86-102. <https://doi.org/10.1111/jipb.13591>

Zurita, A. del V., Reynoso, A., Ochoa, G., Chiotta, M. L., Chulze, S. N., & Palazzini, J. M. (2023). Consorcios bacterianos y actividad PGPR de potenciales biocontroladores de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, patógeno del cultivo de tomate. *XXXIX Jornadas Argentinas de Botánica*, Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/238308?utm_source

ANEXOS

Resultados obtenidos del análisis de varianza para la variable de altura de planta.

Análisis de varianza 5 mediciones (ddt)				
30	45	60	75	90
Valor p	Valor p	Valor p	Valor p	Valor p
0.993	0.117	0.014	0.039	0.109

Resultados obtenidos del análisis de varianza para la variable número de hojas.

Análisis de varianza 5 mediciones (ddt)				
30	45	60	75	90
Valor p	Valor p	Valor p	Valor p	Valor p
0.961	0	0.027	0.49	0.404

Resultados obtenidos del análisis de varianza para la variable longitud entrenudos.

Análisis de varianza 5 mediciones (ddt)				
30	45	60	75	90
Valor p	Valor p	Valor p	Valor p	Valor p
0.746	0.155	0.552	0.179	0.258

Resultados obtenidos del análisis de varianza para la variable diámetro del tallo.

Análisis de varianza 5 mediciones (ddt)				
30	45	60	75	90
Valor p	Valor p	Valor p	Valor p	Valor p
0.29	0.001	0.003	0.075	0.011

Resultados obtenidos del análisis de varianza para la variable área foliar.

Análisis de varianza 1 medición				
120 ddt				
Valor p				
0.488				

Resultados obtenidos del análisis de varianza para la variable peso fresco de hoja.

Análisis de varianza 1 medición
120 ddt
Valor p
0.762

Resultados obtenidos del análisis de varianza para la variable peso seco de hoja.

Análisis de varianza 1 medición
130 ddt
Valor p
0.094